# ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN EMBALSE PINTANANE EN QUEBRADA DE AROMA, HUARA

## INFORME FINAL

## VOLUMEN 1
## ESTUDIO DE INGENIERÍA

## SANTIAGO, MARZO DE 2014


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**Comisión Nacional de Riego**
**Gobierno Regional Tarapacá**

# ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
# CONSTRUCCIÓN EMBALSE PINTANANE EN QUEBRADA DE AROMA, HUARA

## INFORME FINAL

## VOLUMEN 1
## ESTUDIO DE INGENIERÍA

## SANTIAGO, MARZO DE 2014

**Estudio Elaborado por:**

**ARRAU INGENIERÍA E.I.R.L.**
**Dir: María Luisa Santander 0231, PROVIDENCIA – SANTIAGO**
**Fonos: 02-23414800 – e-mail: oficina@arrauingenieria.cl – www.arrauingenieria.cl**

**INFORME FINAL**

**VOLUMEN 1: ESTUDIO DE INGENIERÍA**

**VOLUMEN 2: PARTICIPACIÓN CIUDADANA**

**VOLUMEN 3: ESTUDIO AGRONÓMICO**

**VOLUMEN 4: ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL**

**VOLUMEN 5: TOPOGRAFÍA**

**VOLUMEN 6: PLANOS**


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**INDICE INFORME FINAL**
**VOLUMEN 1**
**ESTUDIO DE INGENIERÍA**


| Acápite | Descripción | Página |
|---|---|---|
| **1** | **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS** | **1-1** |
| 1.1. | INTRODUCCIÓN | 1-1 |
| 1.2. | IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 1-2 |
| 1.3. | OBJETIVOS DEL ESTUDIO | 1-2 |
| 1.3.1. | Objetivo General | 1-2 |
| 1.3.2. | Objetivos Específicos | 1-3 |
| 1.4. | CONTENIDO DEL INFORME | 1-5 |
| **2** | **RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES** | **2-1** |
| 2.1. | REVISIÓN DE ESTUDIOS | 2-1 |
| 2.1.1. | Estudios Área Civil | 2-1 |
| 2.1.2. | Estudios Área Recursos Hídricos | 2-5 |
| 2.1.3. | Estudios Área Geológica y Geotécnica | 2-9 |
| 2.1.4. | Estudios Área Agroeconómica | 2-11 |
| 2.1.5. | Estudios Ambientales | 2-17 |
| 2.1.6. | Estudios Legales. | 2-23 |
| 2.1.7. | Antecedentes Cartográficos y Espaciales | 2-24 |
| 2.2. | REVISIÓN PERIODISTICA DE DESASTRES | 2-25 |
| 2.2.1. | Revisión de Antecedentes de Prensa | 2-25 |
| 2.2.2. | Daños Producidos por Crecidas | 2-27 |
| **3** | **DIAGNOSTICO Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO** | **3-1** |
| 3.1. | CARACTERIZACION GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO | 3-1 |
| 3.1.1. | Ubicación del Área del Proyecto | 3-1 |
| 3.1.2. | Estructura Político - Administrativa | 3-2 |
| 3.1.3. | Antecedentes Demográficos | 3-3 |
| 3.1.4. | Antecedentes Socioeconómicos | 3-7 |
| 3.1.5. | Condiciones de Vida de la Población | 3-9 |
| 3.1.6. | Características Físicas | 3-14 |
| 3.2. | CARTACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA | 3-17 |
| 3.2.1. | Hidrografía y Recursos Hídricos | 3-17 |
| 3.2.2. | Estadística Banco Nacional de Aguas (BNA) | 3-18 |
| 3.3. | CARACTERIZACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA | 3-20 |
| 3.4. | CARACTERIZACIÓN AGROPECUARIA | 3-24 |
| 3.4.1. | Agroclimas | 3-24 |



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**INDICE INFORME FINAL**
**VOLUMEN 1**
**ESTUDIO DE INGENIERÍA**


| Acápite | Descripción | Página |
|---|---|---|
| 3.4.2. | Capacidad de Uso de Suelo | 3-25 |
| 3.4.3. | Tamaño de la Propiedad Agrícola | 3-28 |
| 3.4.4. | Antecedentes Productivos | 3-29 |
| 3.4.5. | Sistema de Riego Intrapredial | 3-34 |
| 3.5. | CARACTERIZACION AMBIENTAL | 3-34 |
| 3.5.1. | Zonas Protegidas | 3-34 |
| 3.5.2. | Área de Restricción | 3-36 |
| 3.5.3. | Vegas y Bofedales | 3-38 |
| 3.5.4. | Proyectos Ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) | 3-39 |
| 3.6. | RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO | 3-40 |
| 3.6.1. | Campañas Realizadas | 3-41 |
| 3.6.2. | Posibles Sitios de Emplazamiento del Muro | 3-41 |
| 3.6.3. | Ubicación de Bocatomas y Canales | 3-44 |
| 3.6.4. | Sectores Agrícolas | 3-50 |
| **4** | **IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PRELIMINARES** | **4-1** |
| 4.1. | SITIOS DE EMBALSE | 4-1 |
| 4.1.1. | Tipo de Presa en Cada Emplazamiento | 4-4 |
| 4.1.2. | Elección del Tipo de Presa | 4-13 |
| 4.2. | ANÁLISIS DE ASPECTOS ARQUEOLÓGICOS | 4-13 |
| 4.3. | ANÁLISIS DE ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS | 4-14 |
| 4.3.1. | Introducción | 4-14 |
| 4.3.2. | Marco Morfológico | 4-17 |
| 4.3.3. | Marco Geológico Local | 4-19 |
| 4.3.4. | Riesgos Geológicos | 4-32 |
| 4.3.5. | Materiales de Empréstito: Rellenos, Áridos y Enrocados. | 4-39 |
| 4.3.6. | Análisis Morfogeológico y Geotécnico de las Alternativas | 4-40 |
| 4.3.7. | Referencias | 4-49 |
| 4.4. | ANÁLISIS DE RECURSOS HIDRICOS, CRECIDAS Y SEDIMENTACIÓN | 4-49 |
| 4.4.1. | Definición de Curvas | 4-49 |
| 4.4.2. | Evaporación | 4-50 |
| 4.4.3. | Descripción General del Área de Estudio | 4-51 |



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**INDICE INFORME FINAL**
**VOLUMEN 1**
**ESTUDIO DE INGENIERÍA**


| Acápite | Descripción | Página |
|---|---|---|
| 4.4.4. | Pluviometría | 4-55 |
| 4.4.5. | Fluviometría | 4-65 |
| 4.4.6. | Estimación Preliminar de Caudales Máximos | 4-74 |
| 4.4.7. | Aguas Subterráneas | 4-78 |
| 4.4.8. | Solicitud de Derechos Superficiales de Agua Eventuales | 4-79 |
| 4.5. | CAPACIDAD DE LOS EMBALSES | 4-80 |
| 4.6. | EVALUACIÓN DE ANTEPROYECTO DE CAMINOS | 4-82 |
| 4.6.1. | Descripción del Anteproyecto de Camino | 4-82 |
| 4.6.2. | Trazados de Variantes de Caminos | 4-85 |
| 4.7. | EVALUACIÓN PARA RED DE CANALES | 4-91 |
| 4.7.1. | Capacidad Máxima Actual de los Canales | 4-91 |
| 4.7.2. | Estimación Preliminar del Caudal a Transportar | 4-93 |
| 4.7.3. | Desarrollo de los Trazados | 4-100 |
| 4.8. | DISEÑO SIMPLIFICADO DE ALTERNATIVAS DE EMBALSE Y RED DE DISTRIBUCIÓN | 4-102 |
| 4.8.1. | Diseño Simplificado de la presa | 4-102 |
| 4.8.2. | Diseño Simplificado de Obras de Conducción y Distribución | 4-113 |
| 4.9. | EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS MEJORES EMPLAZAMIENTOS | 4-124 |
| 4.9.1. | Generalidades | 4-124 |
| 4.9.2. | Antecedentes Considerados y su Evaluación Cualitativa | 4-127 |
| 4.10. | COSTO DE LAS INVERSIONES | 4-136 |
| 4.10.1. | Precios Unitarios | 4-136 |
| 4.10.2. | Presupuesto de las Obras Preliminares | 4-138 |
| 4.10.3. | Costos Totales | 4-144 |
| 4.10.4. | Análisis y Recomendación Final | 4-145 |
| **5** | **TRABAJOS DE TERRENO** | **5-1** |
| 5.1. | TRABAJOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS Y TOPOGRÁFICOS | 5-1 |
| 5.1.1. | Levantamiento Aerofotogramétrico | 5-1 |
| 5.1.2. | Trabajos Topográficos | 5-2 |
| 5.2. | PROSPECCIONES Y ENSAYES | 5-3 |
| 5.2.1. | Programa de Ejecución | 5-4 |
| 5.2.2. | Descripción de las Prospecciones Realizadas | 5-5 |
| 5.2.3. | Resultados | 5-25 |



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**INDICE INFORME FINAL**
**VOLUMEN 1**
**ESTUDIO DE INGENIERÍA**


| Acápite | Descripción | Página |
|---|---|---|
| 5.2.4. | Análisis Crítico de Resultados | 5-35 |
| 5.3. | AFOROS | 5-39 |
| 5.3.1. | Metodología | 5-40 |
| 5.3.2. | Aforo en Canales | 5-42 |
| 5.3.3. | Aforos en Río Aroma | 5-45 |
| **6** | **ESTUDIOS BÁSICOS** | **6-1** |
| 6.1. | ESTUDIO GEOLÓGICO | 6-1 |
| 6.1.1. | Procesos de Remoción en Masa | 6-2 |
| 6.1.2. | Marco Geológico Local | 6-10 |
| 6.1.3. | Materiales de Empréstito | 6-29 |
| 6.1.4. | Análisis Morfogeológico, Estructural y Geotécnico de Alternativas | 6-35 |
| 6.1.5. | Conclusiones y Selección de Alternativas. | 6-49 |
| 6.2. | ESTUDIO GEOTECNICO | 6-54 |
| 6.2.1. | Antecedentes Utilizados | 6-56 |
| 6.2.2. | Propiedades del Suelo de Fundación | 6-57 |
| 6.2.3. | Conclusiones de la Exploración y de los Ensayes | 6-64 |
| 6.2.4. | Propiedades Mecánicas | 6-66 |
| 6.2.5. | Diseño | 6-67 |
| 6.2.6. | Calculo de Filtraciones | 6-71 |
| 6.2.7. | Inyecciones | 6-72 |
| 6.3. | ESTUDIO HIDROLÓGICO | 6-74 |
| 6.3.1. | Descripción General del Área de Estudio | 6-74 |
| 6.3.2. | Pluviometría | 6-75 |
| 6.3.3. | Precipitación Máxima | 6-76 |
| 6.3.4. | Evaporación | 6-76 |
| 6.3.5. | Fluviometría | 6-77 |
| 6.3.6. | Volumen Muerto | 6-90 |
| 6.3.7. | Caracterización Hidrogeológica | 6-92 |
| 6.4. | ESTUDIO DE DERECHOS DE AGUA | 6-114 |
| 6.4.1. | Derechos de Aprovechamiento Concedidos e Inscritos: | 6-115 |
| 6.4.2. | Peticiones de Regularizaciones de Derechos de Aprovechamiento en Actual Tramitación: | 6-125 |
| 6.4.3. | Conclusiones Generales | 6-129 |



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**INDICE INFORME FINAL**
**VOLUMEN 1**
**ESTUDIO DE INGENIERÍA**


| Acápite | Descripción | Página |
|---|---|---|
| 6.5. | INFRAESTRUCTURA DE RIEGO | 6-130 |
| 6.5.1. | Evaluación para diferentes situaciones de calidad de Agua | 6-130 |
| 6.5.2. | Potenciales Zonas de Riego y Superficies Asociadas | 6-130 |
| 6.5.3. | Red de distribución para riego | 6-137 |
| 6.6. | TENENCIA DE LA TIERRA | 6-146 |
| 6.6.1. | Aspectos Básicos del Área de Estudio | 6-147 |
| 6.6.2. | Tenencia de la Tierra | 6-147 |
| 6.6.3. | Ocupación de Tierras | 6-149 |
| 6.6.4. | Propiedades Afectas a Expropiación | 6-154 |
| 6.6.5. | Valoración de los Terrenos | 6-154 |
| 6.7. | ESTUDIO SÍSMICO | 6-155 |
| 6.7.1. | Introducción | 6-155 |
| 6.7.2. | Marco Sismogénico General | 6-173 |
| 6.7.3. | Estimación del Peligro Sísmico | 6-199 |
| 6.8. | ESTUDIO GEOSÍSIMICO | 6-206 |
| 6.8.1. | Metodología Utilizada | 6-206 |
| 6.8.2. | Trabajo de Terreno | 6-207 |
| 6.8.3. | Resultados y Conclusiones | 6-208 |
| **7** | **DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE PROYECTO** | **7-1** |
| 7.1. | ASPECTOS GENERALES | 7-1 |
| 7.2. | DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS | 7-1 |
| 7.3. | EVALUACIÓN PARA DIFERENTES SITUACIONES DE CALIDAD DE AGUA | 7-2 |
| **8** | **ESTUDIO AGROECONÓMICO** | **8-1** |
| 8.1. | INTRODUCCIÓN | 8-1 |
| 8.2. | ÁREA DE INFLUENCIA Y SECTORES DE RIEGO | 8-1 |
| 8.3. | ASPECTOS CLIMÁTICOS | 8-1 |
| 8.4. | ASPECTOS AGROLÓGICOS | 8-2 |
| 8.5. | DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL AGROPECUARIA | 8-3 |
| 8.5.1. | Listado de Agricultores y Estructura de la Propiedad Agrícola | 8-3 |
| 8.5.2. | Encuesta Agropecuaria Extendida | 8-4 |
| 8.5.3. | Resultados Situación Actual Agropecuaria | 8-5 |
| 8.6. | SITUACIÓN SIN PROYECTO | 8-5 |



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**INDICE INFORME FINAL**
**VOLUMEN 1**
**ESTUDIO DE INGENIERÍA**


| Acápite | Descripción | Página |
|---|---|---|
| 8.7. | SITUACIÓN CON PROYECTO | 8-6 |
| 8.7.1. | Caracterización Productiva | 8-6 |
| 8.7.2. | Costos Indirectos y Gastos Generales | 8-9 |
| 8.7.3. | Inversiones en Tecnificación del Riego | 8-10 |
| 8.7.4. | Habilitación de Terrenos | 8-10 |
| 8.7.5. | Programa de Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica | 8-10 |
| 8.8. | DEMANDAS DE AGUA | 8-11 |
| 8.9. | BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO | 8-12 |
| 8.9.1. | Determinación de Flujos Agroeconómicos | 8-12 |
| 8.9.2. | Balance de Mano de Obra | 8-24 |
| **9** | **MODELO DE SIMULACIÓN OPERACIONAL** | **9-1** |
| 9.1. | DESCRIPCIÓN DEL MODELO | 9-1 |
| 9.2. | DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS Y ALTERNATIVAS | 9-3 |
| 9.3. | EVALUACIÓN PARA DIFERENTES SITUACIONES DE CALIDAD DE AGUA | 9-4 |
| 9.4. | DEMANDAS DE RIEGO | 9-4 |
| 9.5. | FACTORES DE REUTILIZACIÓN | 9-6 |
| 9.6. | CAUDAL AFLUENTE AL EMBALSE | 9-8 |
| 9.7. | CAUDAL ECOLOGICO | 9-9 |
| 9.8. | TASAS DE EVAPORACIÓN | 9-11 |
| 9.9. | CURVAS DE EMBALSE | 9-12 |
| 9.10. | OPERACIÓN PARA LA SITUACIÓN ACTUAL O SIN PROYECTO | 9-12 |
| 9.10.1. | Aspectos Generales | 9-12 |
| 9.10.2. | Operación para Riego | 9-14 |
| 9.10.3. | Estimación del cambio en Caudales de Infiltración hacia la Pampa | 9-17 |
| 9.11. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 9-20 |
| **10** | **PREDISEÑO SIMPLIFICADO DE OBRAS DE EMBALSE Y OBRAS ANEXAS** | **10-1** |
| 10.1. | INTRODUCCIÓN | 10-1 |
| 10.2. | UBICACIÓN DEL EJE DE LA PRESA | 10-1 |
| 10.3. | DETERMINACIÓN DE LA COTA DE CORONAMIENTO | 10-2 |
| 10.3.1. | Criterios Generales de Diseño | 10-2 |



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**INDICE INFORME FINAL**
**VOLUMEN 1**
**ESTUDIO DE INGENIERÍA**


| Acápite | Descripción | Página |
|---|---|---|
| 10.3.2. | Definición Caudales Obras de Evacuación | 10-4 |
| 10.3.3. | Cota de Coronamiento | 10-6 |
| 10.4. | DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PRESA | 10-6 |
| 10.4.1. | Conclusiones de la Exploración y de los Ensayes | 10-6 |
| 10.4.2. | Propiedades Mecánicas | 10-8 |
| 10.4.3. | Diseño | 10-9 |
| 10.4.4. | Calculo Estabilidad RCC | 10-14 |
| 10.4.5. | Cálculo de Filtraciones | 10-17 |
| 10.4.6. | Inyecciones | 10-18 |
| 10.5. | DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS | 10-20 |
| 10.5.1. | Aspectos Generales | 10-20 |
| 10.5.2. | Revancha del Embalse Proyectado | 10-20 |
| 10.5.3. | Canal Colector y Grada | 10-33 |
| 10.5.4. | Canal de Descarga | 10-40 |
| 10.5.5. | Rápido de Descarga | 10-41 |
| 10.5.6. | Disipador de Energía | 10-47 |
| 10.5.7. | Diseño Hidráulico de Obras Anexas | 10-51 |
| 10.6. | DISEÑO SIMPLIFICADO DE OBRAS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN | 10-59 |
| 10.6.1. | Trazado Nueva Red de Distribución | 10-59 |
| 10.6.2. | Caudales y Sistema de Turnos | 10-60 |
| 10.6.3. | Diseños Propuestos | 10-61 |
| 10.7. | PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN | 10-67 |
| 10.8. | PREDISEÑO PLANTA MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS | 10-67 |
| 10.8.1. | Mejoramiento a Través de Tecnologías de Desalación | 10-67 |
| 10.8.2. | Análisis del Tratamiento de las Aguas de la Quebrada de Aroma | 10-81 |
| 10.9. | EVALUACIÓN ANTEPROYECTO DE CAMINOS | 10-84 |
| 10.9.1. | Generalidades | 10-84 |
| 10.9.2. | Descripción del Anteproyecto de Camino | 10-84 |
| 10.9.3. | Trazados de Variantes de Caminos | 10-87 |
| 10.10. | Diseño de sistema de aforo remoto de caudales | 10-87 |
| 10.10.1. | Diseño Preliminar | 10-88 |
| 10.10.2. | Sistema de Conexión Remoto. | 10-98 |



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**INDICE INFORME FINAL**
**VOLUMEN 1**
**ESTUDIO DE INGENIERÍA**


| Acápite | Descripción | Página |
|---|---|---|
| **11** | **HIDROGENERACIÓN** | **11-1** |
| 11.1. | INTRODUCCIÓN | 11-1 |
| 11.2. | CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA ESTIMADA | 11-1 |
| 11.3. | POTENCIAL ASOCIADO AL PIE DEL MURO BAJO OPERACIÓN DE RIEGO | 11-3 |
| 11.4. | POTENCIAL ASOCIADO AL PIE DEL MURO BAJO OPERACIÓN DE GENERACIÓN | 11-4 |
| 11.5. | ALTERNATIVAS DE NEGOCIO DE HIDROGENERACIÓN | 11-4 |
| 11.5.1. | Costos | 11-4 |
| 11.5.2. | Factibilidad de la Generación Hidroeléctrica | 11-5 |
| 11.6. | MODELO DE NEGOCIOS | 11-6 |
| 11.7. | USO PARA MEJORAMIENTO CALIDAD DE AGUAS | 11-7 |
| **12** | **PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTOS DE LAS OBRAS** | **12-1** |
| 12.1. | PRECIOS UNITARIOS | 12-1 |
| 12.2. | PRESUPUESTO DE LAS OBRAS | 12-2 |
| 12.2.1. | Costos Obras Alternativas de Embalse para diferentes Capacidades | 12-2 |
| 12.2.2. | Costos Obras de Mejoramiento de Canales y Nuevos Trazados | 12-7 |
| 12.2.3. | Costos Variante de Caminos | 12-11 |
| 12.2.4. | Costos Asociados a sistema remoto de Aforos | 12-12 |
| 12.2.5. | Costos de las MCH | 12-12 |
| 12.2.6. | Costos Asociados al Mejoramiento de la Calidad de Agua | 12-12 |
| 12.2.7. | Resumen de Presupuestos | 12-13 |
| **13** | **ANÁLISIS DE PERTINENCIA DEL EMBALSE DE CONTROL** | **13-1** |
| 13.1. | DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA GENERAL DE CÁLCULO | 13-1 |
| 13.1.1. | Generalidades | 13-1 |
| 13.1.2. | Procedimiento de Cálculo | 13-1 |
| 13.1.3. | Daño Evitado | 13-4 |
| 13.2. | CALCULOS Y RESULTADOS EFECTO REGULADOR | 13-6 |
| 13.2.1. | Alternativa 1 | 13-6 |
| 13.2.2. | Alternativa 2 | 13-9 |
| 13.2.3. | Alternativa 3 | 13-11 |



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**INDICE INFORME FINAL**
**VOLUMEN 1**
**ESTUDIO DE INGENIERÍA**


| Acápite | Descripción | Página |
|---|---|---|
| 13.2.4. | Comentarios | 13-14 |
| 13.3. | CASO DEL EMBALSE PINTANANE | 13-14 |
| **14** | **INTERFERENCIAS Y EXPROPIACIONES** | **14-1** |
| 14.1. | INTERFERENCIAS | 14-1 |
| 14.1.1. | Modificación Ruta A-459 | 14-1 |
| 14.1.2. | Presupuesto de Camino | 14-2 |
| 14.2. | EXPROPIACIONES | 14-2 |
| 14.2.1. | Tenencia Jurídica de la Tierra en Zonas de Expropiación | 14-3 |
| 14.2.1. | Propiedades Afectas a Expropiación | 14-5 |
| 14.2.2. | Valoración de los Terrenos | 14-5 |
| 14.2.3. | Costos Considerados | 14-5 |
| **15** | **ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL** | **15-1** |
| 15.1. | INTRODUCCIÓN | 15-1 |
| 15.2. | OBJETIVO Y ALCANCE DEL EAA | 15-1 |
| 15.2.1. | Objetivo General | 15-1 |
| 15.3. | CONTENIDO DEL EAA | 15-1 |
| 15.4. | RESULTADOS PRINCIPALES DEL ESTUDIO | 15-2 |
| 15.4.1. | Análisis de Pertinencia de Ingreso al SEIA | 15-2 |
| 15.4.2. | Evaluación de Impactos Ambientales | 15-3 |
| 15.4.3. | Costos Ambientales Asociados al Proyecto | 15-4 |
| 15.4.4. | Estudios Recomendados para Etapas Posteriores | 15-6 |
| 15.4.5. | Conclusiones | 15-7 |
| **16** | **PARTICIPACIÓN CIUDADANA** | **16-1** |
| 16.1. | INTRODUCCIÓN | 16-1 |
| 16.1.1. | Objetivos del Estudio | 16-1 |
| 16.1.2. | Objetivos Específicos | 16-1 |
| 16.2. | RESULTADOS | 16-1 |
| 16.2.1. | Descripción del Área del Proyecto | 16-1 |
| 16.2.2. | Diagnóstico del Territorio | 16-2 |
| 16.2.3. | Plan de Actividades de Participación Ciudadana | 16-3 |
| 16.2.4. | Componente de Género | 16-3 |



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**INDICE INFORME FINAL**
**VOLUMEN 1**
**ESTUDIO DE INGENIERÍA**


| Acápite | Descripción | Página |
|---|---|---|
| 16.3. | EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA | 16-4 |
| 16.3.1. | Introducción | 16-4 |
| 16.3.2. | Facilitadores y Obstaculizadores del Proceso de Participación Ciudadana | 16-4 |
| 16.4. | CONSIDERACIONES MÍNIMAS PARA ETAPAS FUTURAS | 16-7 |
| 16.4.1. | Introducción | 16-7 |
| 16.4.2. | Consideraciones | 16-7 |
| 16.5. | ANÁLISIS APLICACIÓN CONVENIO 169 DE LA OIT | 16-8 |
| 16.5.1. | Introducción | 16-8 |
| 16.5.2. | Organizaciones Indígenas relacionadas con el Proyecto | 16-9 |
| 16.5.3. | Recomendación del Consultor respecto de la Aplicación del Convenio 169 de la OIT | 16-10 |
| 16.6. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 16-15 |
| **17** | **EVALUACIÓN ECONÓMICA** | **17-1** |
| 17.1. | INTRODUCCIÓN | 17-1 |
| 17.2. | INDICADORES DE RENTABILIDAD | 17-1 |
| 17.3. | CONDICIONES DE EVALUACIÓN | 17-2 |
| 17.4. | MÉTODOS DE EVALUACIÓN | 17-3 |
| 17.5. | DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE PROYECTO A EVALUAR | 17-4 |
| 17.6. | COSTOS | 17-4 |
| 17.6.1. | Introducción | 17-4 |
| 17.6.2. | Costos de las Obras Civiles | 17-5 |
| 17.6.3. | Costos de Operación | 17-9 |
| 17.6.4. | Expropiaciones | 17-9 |
| 17.6.5. | Costos Mini central Hidroeléctrica | 17-9 |
| 17.6.6. | Inversión en Mejoramiento Calidad de Aguas | 17-10 |
| 17.6.7. | Costos Ambientales | 17-10 |
| 17.6.8. | Capacitación, Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica | 17-11 |
| 17.7. | BENEFICIOS | 17-12 |
| 17.7.1. | Introducción | 17-12 |
| 17.7.2. | Beneficios Derivados del Riego | 17-12 |



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**INDICE INFORME FINAL**
**VOLUMEN 1**
**ESTUDIO DE INGENIERÍA**


| Acápite | Descripción | Página |
|---|---|---|
| 17.7.3. | Beneficio Asociado al Control de Crecidas | 17-17 |
| 17.7.4. | Beneficio Asociado a la Generación Hidroeléctrica | 17-18 |
| 17.8. | RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA | 17-18 |
| 17.9. | ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD | 17-22 |
| 17.10. | ANÁLISIS DE RIESGO | 17-26 |
| 17.10.1. | Introducción | 17-26 |
| 17.10.2. | Condiciones de Análisis | 17-27 |
| 17.10.3. | Resultados | 17-30 |
| 17.11. | INDICADORES ADICIONALES | 17-33 |
| 17.11.1. | Introducción | 17-33 |
| 17.11.2. | Generación de Empleo | 17-34 |
| 17.11.3. | Rentabilidad por Hectárea Productiva | 17-34 |
| 17.11.4. | Ingreso Per Cápita Asignable al Sector Agropecuario | 17-35 |
| 17.11.5. | Generación de Impuestos | 17-35 |
| 17.12. | EXTERNALIDADES | 17-36 |
| 17.13. | MOMENTO ÓPTIMO DE LA INVERSIÓN | 17-36 |
| 17.14. | ANÁLISIS FINANCIERO Y DISPOSICIÓN DE PAGO | 17-37 |
| 17.15. | RECOMENDACIÓN DEL PROYECTO | 17-42 |
| **18** | **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES** | **18-1** |



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**ÍNDICE DE ANEXOS VOLUMEN 1**

Anexo 2-1 Planos DOH 1930

Anexo 3-1 Base cartográfica
Anexo 3-2 Pauta Entrevista Semiestructurada
Anexo 3-3 Catastro de Canales

Anexo 4-2 Caudales Medios Mensuales
Anexo 4-3 Escalamiento Estadístico y ST
Anexo 4-4 Ajuste de Precipitaciones Máximas

Anexo 5-1 Certificados de Ingreso Ensayos Testigos
Anexo 5-2 Estratigrafía Sondajes
Anexo 5-3 Ensayos Sondajes
Anexo 5-4 Descripción Petrográfica
Anexo 5-5 Fotos Cajas Sondajes
Anexo 5-6 Registro de Perforaciones Sondajes
Anexo 5-7 Estudio Geosísmico
Anexo 5-8 Permeabilidad
Anexo 5-9 Estratigrafías Calicatas
Anexo 5-10 Fotos Calicatas
Anexo 5-11 Clasificaciones y Ensayos Calicatas
Anexo 5-12 Campañas de Aforo
Anexo 5-13 Registro Fotográfico

Anexo 6-1 Análisis Sísmico
Anexo 6-2 Caudales de Crecida Q. Aroma
Anexo 6-3 Volumen Muerto
Anexo 6-4 Caracterización Hidrogeologica
Anexo 6-5 DAA
Anexo 6-6 DAAsub DICTUC
Anexo 6-7 Unifilar
Anexo 6-8 Cálculo Conducciones
Anexo 6-9 Oficio
Anexo 6-10 Plano Propiedad Basilio Mamani

Anexo 9-1 Modelo Operación


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## ÍNDICE DE ANEXOS VOLUMEN 1

Anexo 10-1 Verificación Estructural Presa RCC
Anexo 10-2 Diseños Hidráulicos Muro y OA
Anexo 10-3 Diseño Conducciones
Anexo 10-4 Bibliografía Desalación de Aguas
Anexo 10-5 Diseño Aforadores
Anexo 10-6 Ubicación Aforadores

Anexo 11-1 MCH

Anexo 12-1 PU y Presupuesto

Anexo 17-1 Estudio Tarifario Aguas del Altiplano 2013-2018
Anexo 17-2 Evaluación Económica
Anexo 17-3 Análisis Financiero


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## ÍNDICE DE INFORME FINAL
## PLANOS
## (VOLUMEN 6)

| Nº | CÓDIGO | NOMBRE |
|---|---|---|
| 1 | GN-PTN-01 | Planta General Ubicación Área de Estudio Embalse Pintanane |
| 2 | GN-PTN-02 | Planta General Ubicación Canales Proyecto Embalse Pintanane |
| 3 | RES-PTN-00 | Planta General Ubicación Poligonales y Sectores de Restitución |
| 4 | RES-PTN-01 | Restitución Aerofotogramétrica, Potencial Área de Expansión Agrícola. |
| 5 | RES-PTN-02 | Restitución Aerofotogramétrica Quebrada de Aroma, Conducción Curaña - Cerro Unitas. |
| 6 | RES-PTN-03 | Restitución Aerofotogramétrica Quebrada de Aroma, Sector Bajo de Riego. |
| 7 | RES-PTN-04 | Restitución Aerofotogramétrica Quebrada de Aroma, Sector Alto de Riego. Lámina 1 de 2 |
| 8 | RES-PTN-05 | Restitución aerofotogramétrica Quebrada de Aroma, Sector Alto de Riego. Lámina 2 de 2 |
| 9 | RES-PTN-06 | Restitución Aerofotogramétrica Quebrada de Aroma, Zona de Inundación y Alternativas de Embalse |
| 10 | GNA-PTN-01 | Planta General Ubicación de Alternativas Embalse Pintanane |
| 11 | TOP-PTN-01 | Levantamiento Topográfico Alternativas de Muro |
| 12 | TOP-PTN-02 | Levantamiento Topográfico Zona De Empréstitos |
| 13 | TOP-PTN-03 | Levantamiento Topográfico Zona Satélite |
| 14 | AFO-PTN-01 | Planta ubicación 2º Campaña de Aforos Quebrada de Aroma |
| 15 | GEO-PTN-01 | Geología Estudio de Prefactibilidad Proyecto Construcción Embalse Pintanane. |
| 16 | GEO-PTN-02 | Planta Geológica Alternativas de Muro |
| 17 | ANALT-PTN-01 | Planta Alternativa 1, Perfiles Longitudinales y Detalles |
| 18 | ANALT-PTN-02 | Planta Alternativa 2, Perfiles Longitudinales y Detalles |
| 19 | ANALT-PTN-03 | Planta Alternativa 3, Perfiles Longitudinales Y Detalles |
| 20 | ANALT-PTN-04 | Planta Alternativa 4, Perfiles Longitudinales Y Detalles |
| 21 | ANALT-PTN-05 | Planta Alternativa 5, Perfiles Longitudinales Y Detalles |
| 22 | ALT-PTN-01 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 1 VU 3.000.000 $m^3$ |
| 23 | ALT-PTN-02 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 1 VU 6.000.000 $m^3$ |
| 24 | ALT-PTN-03 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 1 VU 9.000.000 $m^3$ |
| 25 | ALT-PTN-04 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 1 VU 12.000.000 $m^3$ |
| 26 | ALT-PTN-05 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 1 VU 15.000.000 $m^3$ |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## ÍNDICE DE INFORME FINAL
## PLANOS
## (VOLUMEN 6)

| Nº | CÓDIGO | NOMBRE |
|---|---|---|
| 27 | ALT-PTN-06 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 2 VU 3.000.000 $m^3$ |
| 28 | ALT-PTN-07 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 2 VU 6.000.000 $m^3$ |
| 29 | ALT-PTN-08 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 2 VU 9.000.000 $m^3$ |
| 30 | ALT-PTN-09 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 2 VU 12.000.000 $m^3$ |
| 31 | ALT-PTN-10 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 2 VU 15.000.000 $m^3$ |
| 32 | ALT-PTN-11 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 3 VU 3.000.000 $m^3$ |
| 33 | ALT-PTN-12 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 3 VU 6.000.000 $m^3$ |
| 34 | ALT-PTN-13 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 3 VU 9.000.000 $m^3$ |
| 35 | ALT-PTN-14 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 3 VU 12.000.000 $m^3$ |
| 36 | ALT-PTN-15 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa 3 VU 15.000.000 $m^3$ |
| 37 | ALT-PTN-16 | Planta y Perfil Longitudinal Eje Alternativa RCC VU 9.000.000 $m^3$ |
| 38 | CAM-PTN-01 | Planta y Perfil Longitudinal Trazado Alternativo Proyecto Camino al Muro Pintanane |
| 39 | CAM-PTN-02 | Perfiles Transversales Trazado Alternativo Proyecto Camino al Muro Pintanane Lámina 1/2 |
| 40 | CAM-PTN-03 | Perfiles Transversales Trazado Alternativo Proyecto Camino al Muro Pintanane Lámina 2/2 |
| 41 | CAM-PTN-04 | Planta y Perfil Longitudinal Trazado Alternativo Proyecto Camino Bypass Pintanane Lámina 1/2 |
| 42 | CAM-PTN-05 | Planta y Perfil Longitudinal Trazado Alternativo Proyecto Camino Bypass Pintanane Lámina 2/2 |
| 43 | CAM-PTN-06 | Perfiles Transversales Trazado Alternativo Proyecto Camino Al Muro Pintanane Lámina 1/3 |
| 44 | CAM-PTN-07 | Perfiles Transversales Trazado Alternativo Proyecto Camino Al Muro Pintanane Lámina 2/3 |
| 45 | CAM-PTN-08 | Perfiles Transversales Trazado Alternativo Proyecto Camino Al Muro Pintanane Lámina 3/3 |
| 46 | EXP-PTN-01 | Expropiaciones Área de Inundación Embalse Pintanane Alternativa 1 |
| 47 | EXP-PTN-02 | Expropiaciones Área de Inundación Embalse Pintanane Alternativa 2 |
| 48 | EXP-PTN-03 | Expropiaciones Área de Inundación Embalse Pintanane Alternativa 3 |
| 49 | EXP-PTN-04 | Expropiaciones Trazado Tubería Conducción Curaña - Cerro Unitas |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

# 1. Introducción y objetivos

## *1.1. Introducción*

La presente consultoría se refiere al ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN EMBALSE PINTANANE EN QUEBRADA DE AROMA, HUARA", encargado por la COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO, y con financiamiento del Gobierno Regional de Tarapacá.

La Comisión Nacional de Riego es el organismo responsable de la planificación, generación de información y seguimiento de programas de desarrollo agrícola en áreas de Riego y Drenaje, y dentro de este marco llama a la presente licitación.

El área de estudio se localiza en la comuna de Huara, provincia del Tamarugal, Región de Tarapacá, zona que es muy importante desde el punto de vista del desarrollo agropecuario, a nivel regional.

La Quebrada de Aroma nace en la cordillera Central, límite poniente de la gran altiplanicie denominada Altiplano. Los cursos superiores de estos ríos se caracterizan por ser de cauces muy estrechos, encajonados y escaso desarrollo de suelos y agricultura. En su curso inferior, pasada la sierra, los cauces se ensanchan dando espacio a la pequeña agricultura de especies resistentes a altas concentraciones de sales y boro, entre otros, en los sectores donde las crecidas no han socavado y arrastrados los suelos En todo caso, para esta Consultoría, los términos Huara, Quebrada de Huara o Aroma, o Valle, incluyen todos los sectores de la cuenca, desde la desembocadura hasta el sector del embalse.

El río dispone de agua durante todo el año la cual se va infiltrando paulatinamente a lo largo de su desarrollo hasta desaparecer completamente en el sector de la pampa lo que genera la recarga del acuífero.

El desarrollo agrícola de los valles inferiores es prácticamente nulo y está fuertemente limitado por la cantidad y calidad de los recursos hídricos existentes.

En la quebrada se tienen distintos caudales según la época del año. Durante los meses de primavera el caudal disminuye violentamente provocando un grave déficit en la parte baja de la quebrada, con lo cual la explotación agrícola se dificulta y complica, para los agricultores de ese sector. Por otra parte, durante los meses de estío se producen, en muchas ocasiones, violentas bajadas de río, teniendo éstas en algunos casos, características aluvionales.

## *1.2. IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA*

El sector corresponde a una zona árida de altura, con un bajo desarrollo de actividades económicas que permitan el progreso y asentamiento de las comunidades Aymaras


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

presentes en la quebrada. Una de las actividades que actualmente practicadas es la agricultura.
El desarrollo agrícola del valle de Aroma actualmente presenta deficiencias debido a la cantidad y calidad de los recursos hídricos, accesibilidad y distancia a sectores poblados, falta de suelos potenciales para cultivos y a la falta de regulación de estos.
Por otro lado, tanto la actividad agropecuaria como la infraestructura del valle ha sido gravemente afectada por las crecidas derivadas del invierno altiplánico. En la actualidad hay presencia de pequeños sectores en donde se practica la agricultura, ya que el resto del valle ha sido arrastrado y socavado, dejando tobas y arenas de escaso a nulo potencial agrícola. Otros daños ocasionados por las crecidas son daños en bocatomas, pérdidas de cultivos, cortes de caminos y aislamiento de pueblos.
Con el fin de mantener y desarrollar la actividad agropecuaria de la quebrada de Aroma se desarrolló un estudio de Prefactibilidad de embalse destinado a mejorar las condiciones de abastecimiento al riego del sector, mejorando de ese modo las explotaciones agrícolas actuales.

## *1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO*

### 1.3.1. Objetivo General

El objetivo principal del estudio es proponer y evaluar los efectos asociados a la construcción de un embalse de cabecera en la Quebrada de Aroma, orientado principalmente a mejorar las condiciones de abastecimiento del sector agrícola y sus explotaciones actuales y futuras. Para ello, se considerarán a nivel de Prefactibilidad los aspectos técnicos, económicos, legales y ambientales asociados a la construcción de este tipo de obras y a su red de canales de distribución.
El proyecto permitiría incrementar la superficie y seguridad de riego del valle, evitar o al menos disminuir los daños por efectos de crecidas aguas abajo de la obra, incentivar el arraigamiento de etnias rurales y aprovechar el potencial eléctrico generado por la construcción del muro proyectado.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 1.3.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

- Seleccionar el mejor emplazamiento y tamaño óptimo para una obra de acumulación multipropósito y sus obras anexas, considerando principalmente los beneficios potenciales de utilizar agua embalsada para riego, regulador de crecida y agua potable, entre otros, y desarrollar sus diseños a nivel de diseños preliminares.

- Identificar y proponer las mejores alternativas de obras para asegurar una óptima captación, distribución y entrega a la zona agrícola del recurso hídrico regulado por el embalse, y desarrollar los prediseños de esta red de canales y sus obras anexas.

- Analizar los recursos hídricos del sector y realizar un completo diagnóstico de la situación técnica y legal de los derechos de aprovechamiento de aguas de propiedad de los potenciales beneficiarios del proyecto.

- Prestar Asesoría Legal y Técnica a las organizaciones de usuarios que correspondan, en relación con los trámites de regularización y/o perfeccionamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas de propiedad de los regantes que integran dichas organizaciones.

- Establecer un compromiso con las organizaciones de usuarios que correspondan, para que los regantes que integran dichas organizaciones inicien los trámites de regularización y/o perfeccionamiento de sus respectivos derechos de aprovechamiento de aguas.

- Analizar en profundidad a nivel de Prefactibilidad técnica, económica, legal y ambiental de las alternativas propuestas de construcción de embalse del sistema de regadío en Quebrada de Aroma, regulador de crecidas, que incluyen la red de distribución y el análisis de las posibilidades de hidrogeneración, lo cual se deberá hacer acorde a los estudios técnico-económicos del presente estudio.

- Determinar en función de los estudios Agropecuarios y Agro-económicos, las demandas hídricas del proyecto a nivel de Prefactibilidad, de tal forma de dimensionar el embalse y la red de canales de la forma más óptima posible, condicionando su operación para variados escenarios de simulación.

- Se deberán efectuar diferentes estudios de ingeniería básica a nivel de Pre-Factibilidad (hidrología, hidrogeología, mecánica fluvial, transporte de sedimentos, geológicos, geotécnicos, topográficos, etc.), para el estudio de las alternativas de presa.

- Determinar el Tamaño y Emplazamiento óptimos para la Presa del Embalse, además del momento óptimo de la inversión.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Plantear escenarios de proyecto con las obras seleccionadas y caracterizarlos con estudios de ingeniería y de agronomía, a nivel de prefactibilidad.

- Estudiar la operación conjunta entre sistema de riego y sistema de control de crecidas y optimizarla.

- Incluir el Anteproyecto de la Presa y sus Obras Anexas, así como la red de Canales de Distribución, incluyendo las obras necesarias para la implementación de Hidrogeneración asociada al Riego.

- Evaluar y prediseñar un sistema de red remota para medición de caudales en canales de conducción y distribución de las aguas.

- Evaluar eventuales interferencias que el proyecto podría tener con instalaciones existentes (caminos, sectores de cultivos, propiedad privada, entre otros) y cuantificar los costos asociados.

- Analizar la situación agropecuaria actual y proyectarla, en función de la mayor seguridad de riego que cualquiera de las alternativas de proyecto generaría, planteando un mejoramiento en las tecnologías de riego y cultivos actuales, así como elaborar un Programa de Asistencia Técnica y de Transferencia Tecnológica para la zona del Proyecto.

- Desarrollar un Programa de Participación Ciudadana.

- Realizar un Estudio de Análisis Ambiental del Proyecto (EAA), precisando los impactos ambientales, las medidas de mitigación y sus costos, tanto para el embalse, su red de distribución y las obras de hidrogeneración.

- Determinar los beneficios y costos para cada escenario de proyecto.

- Preparar un programa de Inversión donde se consideren los costos de construcción y operación del embalse y obras anexas, y de la red de canales asociada, además estimar los costos de implementar los planes de Transferencia Tecnológica y Asistencia Técnica, para ser expuestos a la comunidad.

- Evaluación económica del proyecto mediante el Método de la Productividad Marginal o Método del Presupuesto, cuyos resultados deberán ser chequeados a través del desarrollo del Método del Valor Incremental de la Tierra y el Método del Valor de Mercado de las transacciones de Derechos de Aprovechamiento de Agua.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## *1.4. CONTENIDO DEL INFORME*

Los contenidos del informe son los siguientes:

- **Capítulo 1:** Introducción y Objetivos
- **Capítulo 2:** Recopilación de Antecedentes
- **Capítulo 3** Diagnóstico y Caracterización Área de Estudio
- **Capítulo 4:** Identificación y Evaluación de Alternativas Preliminares
- **Capítulo 5:** Trabajos de Terreno
- **Capítulo 6:** Estudios Básicos
- **Capítulo 7:** Estudio Agroeconómico
- **Capítulo 8:** Definición de Escenarios de Proyecto
- **Capítulo 9:** Modelo de Simulación Operacional
- **Capítulo 10:** Prediseño simplificado de Alternativas de Embalse y Red de Distribución
- **Capítulo 11:** Hidrogeneración
- **Capítulo 12:** Precios Unitarios y Presupuestos de las Obras
- **Capítulo 13:** Análisis de Pertinencia del Embalse de Control
- **Capítulo 14:** Interferencias y Expropiaciones
- **Capítulo 15:** Estudio de Análisis Ambiental
- **Capítulo 16:** Participación Ciudadana
- **Capítulo 17:** Evaluación Económica
- **Capítulo 18:** Conclusiones y Recomendaciones Finales


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

# 1. Recopilación de antecedentes

## *1.1. Revisión de estudios*

En esta sección se presentan estudios en diversas áreas los que permiten tener una visión en extenso de la problemática del área de estudio. En total se analizaron 38 estudios, los que se dividen en 6 áreas temáticas:

- Área Civil: 6
- Área Recursos Hídricos: 6
- Área Geología y Geotecnia: 5
- Área Agroeconómica: 9
- Área Ambiental: 11
- Área Legal: 1

Los estudios se resumen brevemente en lo que sigue.

### 1.1.1. Estudios Área Civil

En el Cuadro 2.1.1-1 se incluyen los Estudios Revisados en el área Civil.

**CUADRO 1.1.1-1**
**RESUMEN ESTUDIOS REVISADOS**

| Acápite | Estudio |
|---|---|
| 2.1.1.1 | Diagnóstico Manejo de Cauce Quebrada de Tarapacá, región de Tarapacá, DOH-SIGA, 2010 |
| 2.1.1.2 | Embalse Pintanane", PROCIVIL INGENIERIA LTDA – CNR, 2008 |
| 2.1.1.3 | Diagnóstico Definitivo Reparación Embalse Caritaya, SMI, 2008 |
| 2.1.1.4 | Diseño y Especificaciones para Suministro, Fabricación y Montaje de Elementos Mecánicos de las Obras de Entrega y Regulación de la Presa Caritaya, ARCADIS Geotecnia, Octubre 2006 |
| 2.1.1.5 | Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vitor y Camarones, Primera Región. AC Ingenieros Consultores Ltda.-DOH, Julio de 2002 |
| 2.1.1.6 | Legajo de planos "Tranque de Escollera Pintanane". Dirección General de Obras Públicas Departamento de Riego, 1930 |

Fuente: Elaboración Propia


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

#### 1.1.1.1. Diagnóstico Manejo de Cauce Quebrada de Tarapacá, región de Tarapacá, DOH-SIGA, 2010

El estudio realizado por SIGA el 2010, fue desarrollado con el fin de: formular un diagnóstico actualizado de las crecidas y sus efectos en la quebrada de Tarapacá y sus afluentes principales (Coscaya y Chusmiza), y formular un plan de manejo de la quebrada de Tarapacá: Proponer mejoras en cuanto a medidas estructurales y no estructurales.
El proyecto se desarrolló en cinco etapas; la primera de recopilación de antecedentes, en el capítulo 2 la definición de los objetivos del plan de manejo y los trabajos de terreno para restitución y levantamiento topográfico, luego los estudios básicos, diagnóstico y plan de manejo preliminar y finalmente la elaboración del plan de manejo de cauce y el informe final.
En los resultados se detalla un catastro, estructurado en fichas, de los elementos de interés en el cauce y sus riberas como; infraestructura de obras de defensas fluviales, puentes, bocatomas, zonas de riesgos por inundaciones, zonas de conflictos por deslindes, zonas de botaderos y canteras.
Del diagnóstico se desprende que en relación con el comportamiento hidráulico, calculado con Hec-Ras, hay zonas de inundaciones de pueblos, pérdidas de cultivos y funcionamiento ineficiente de alcantarillas (en San Lorenzo de Tarapacá) para periodos de retorno mayor o igual a 5 años. Por otra parte, en los aspectos fluviales se diagnostican estados buenos y regulares para las obras de defensas fluviales a lo largo de la quebrada de Tarapacá
En cuanto al Plan Estratégico, sus objetivos principales planteados para su formulación fueron: evitar anegamientos para no tener pérdidas de vidas humanas o de superficie agrícola, establecer las capacidades adecuadas de las quebradas para evitar interrupciones de los accesos a las localidades, proteger la infraestructura existente, realizar planes de contingencia, programas de educación, plan de ordenamiento del cauce y finalmente, plan de promoción del plan.
Las conclusiones y recomendaciones se dividen en

- Estudios básicos; existen áreas sin la cartografía base, que vale la pena restituir para obtener un correcto análisis de inundación. Del catastro de obras, no se identificaron la infraestructura informal, provisional y artesanal. Finalmente se ha desarrollado un diagnóstico del comportamiento de la quebrada de Tarapacá y sus afluentes principales.

- Plan de Manejo: La rentabilidad de las medidas estructurales propuestas, resultó positivo. Por otra parte. La gran infraestructura de riego existente se nota deteriorada por efecto de las inundaciones. El funcionamiento del sistema requiere que se construyan todas las obras proyectadas. En cuanto a las medidas no estructurales que entrega el plan de manejo, se destaca el uso indebido de terrenos dentro del área de inundación de las quebradas laterales los que podrían ser afectados frente a una crecida. El sistema actual de defensas ribereñas corresponde a planes de emergencia, y no al


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

resultado de estudios acabados del comportamiento del cauce que respalden este tipo de soluciones.

### 1.1.1.2. "Embalse Pintanane", PROCIVIL INGENIERIA LTDA – CNR, 2008.

Este Perfil fue propuesto por la Comisión Regional de Riego como nueva iniciativa de proyecto en el marco del estudio "Catastro de Obras Medianas de Riego y Elaboración del Plan de Inversiones al año 2012, Zona Norte, regiones de Arica y Parinacota a Metropolitana", 2008.

El Embalse Pintanane proyectado, corresponde a una regulación estacional superficial y además subterránea de la Quebrada de Aroma para aprovechar los recursos hídricos de esta cuenca y proveer de agua de riego con alta seguridad para una superficie de unas 490 ha, mediante un embalse superficial de unos 6 millones de $m^3$ de capacidad.

En complemento, se propuso un embalse subterráneo, para regular los recursos del acuífero en ese punto, mediante la construcción de una pared moldeada bajo el eje del muro, formando parte de la fundación del embalse de superficie, con lo que se incrementaría el volumen total de explotación a unos 3,5 millones $m^3$. Además, se proyectó un dren con trazado profundo bajo el cauce, dotado de válvulas de regulación y una conducción entubada de 1.000 m de longitud que aflora gravitacionalmente y entrega los recursos regulados al cauce.

La hoya tributaria se estimó en 1.360 $km^2$, con un rendimiento de hasta 400 l/s como caudal promedio anual el cual sirve para regar en forma eventual unas 250 ha. Durante el invierno altiplánico los excedentes de agua se pierden en la pampa al abrirse el valle con numerosos brazos que se dispersan en una amplia zona de infiltración. El proyecto propone embasar dichos excedentes para su consumo agrícola con alta seguridad en el valle, particularmente en la localidad de Ariquilda.

Este proyecto se orienta a arraigar grupos étnicos que podrían explotar la zona agrícola, que se estima sería de aproximadamente unas 490 ha de riego con alta seguridad de abastecimiento.

La geología zonal es descrita como de origen volcánico, con formaciones de ignimbritas soldadas de alta porosidad. En las laderas se observa la presencia de material de derrames suelto, con un elevado talud de descanso del material, que deberá ser objeto de un estudio geotécnico.

### 1.1.1.3. Diagnóstico Definitivo Reparación Embalse Caritaya, SMI (2008).

Este estudio se realizó con el fin de rehabilitar el Embalse Caritaya, a partir de la elaboración de un diagnóstico del estado de las obras civiles y la elaboración del diseño definitivo de las reparaciones del embalse.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Del diagnóstico realizado se extrae lo siguiente: "*El estado general de la obra es bueno, siendo sus principales problemas el no contar con una torre de captación y las filtraciones que se producen a través de la pantalla impermeable. A pesar de haber sido construida hace 75 años, su situación de conservación permite que las actividades de reparación propuestas sean de diseño rápido y económico, y de un tiempo de ejecución tal que es posible tener operativo el embalse para la siguiente temporada de crecidas. Dichas actividades son las siguientes:*

- *La colocación de una membrana de impermeabilización sobre la pantalla, resistente al paso del tiempo y a la acción del clima. De rápida instalación y fácil traslado.*
- *Ejecutar inyecciones de impermeabilización en el entorno del túnel.*
- *La reubicación del Tapón, por una hidráulicamente adecuada.*
- *Construcción de una torre de captación a través de elementos prefabricados cuadrados de hormigón, de fácil transporte e instalación.*

*Resulta fundamental considerar tanto para el tiempo de ejecución como para el análisis de costo la ubicación del embalse y su difícil acceso, es por esto que las alternativas de reparación propuestas son de tan sencilla implementación como sea posible".*
El informe se compone por 10 capítulos de los cuales se rescata el estudio hidrológico que contiene información meteorológica cercana al área de estudio por lo que podría ser utilizada en el estudio hidrológico de la presente consultoría.

### 1.1.1.4. Diseño y Especificaciones para Suministro, Fabricación y Montaje de Elementos Mecánicos de las Obras de Entrega y Regulación de la Presa Caritaya, ARCADIS Geotecnia, Octubre 2006

Este informe técnico, tuvo como objetivo proponer las mejoras necesarias que requería el sistema de entrega del embalse Caritaya para cumplir con los estándares utilizados por la DOH en proyectos similares.
El análisis de la obra indicaron que era necesario, en la dos líneas de entrega, reforzar la tubería embebida en el tapón de hormigón, reemplazar las válvulas de cierre , la válvulas ventosas y las tuberías de 600 y 500 mm, además de hacer una mantención a las válvulas de chorro hueco. Además se hace imprescindible no superar una carga de agua mayor a los 20 m.c.a.
El informe presenta precios de partidas las cuales se podrían ser considerados en el análisis de precios de la presente consultoría.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 1.1.1.5. Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vitor y Camarones, Primera Región. AC Ingenieros Consultores Ltda.-DOH, Julio de 2002

El estudio se desarrolló con el objetivo principal de elaborar una completa caracterización de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de las cuencas correspondientes a los valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones. Como parte de dicha caracterización de los recursos hídricos, se planteó la necesidad de disponer de un catastro de la infraestructura existente en los cauces de los 4 valles señalados. Esto último con especial énfasis en las obras de toma de agua para riego, potable y otros, así como aquella destinada a la protección de riberas, puentes, y en general aquellas de interés al estudio.
Este estudio señalado en los términos de referencia del presente estudio no presenta antecedentes relevantes de la Quebrada de Aroma.

### 1.1.1.6. Legajo de planos "Tranque de Escollera Pintanane". Dirección General de Obras Públicas Departamento de Riego, 1930

Del legajo de planos completo sólo se pudieron recopilar los disponibles en la Dirección de Obras Hidráulicas, Región de Tarapacá, y que se indican a continuación:

- Plano General de las Hoyas Hidrográficas para los Tranques de "Pachica" y "Pintanane". En las Quebradas de Tarapacá y Aroma respectivamente.
- Tranque de Escollera "Pachica" Compuertas y Radier Canal Tamarugal.
- Tranque de Escollera "Pintanane" Quebrada de Aroma.

Del plano "Tranque de Escollera Pintanane" se obtiene la antigua ubicación proyectada para este Embalse el cual se ubica aguas abajo de la quebrada Cala Cala. En el Anexo 2-1 se Incluyen los Planos Mencionados.

## 1.1.2. Estudios Área Recursos Hídricos

En el cuadro 2.1.2-1 se incluyen los Estudios Revisados en el área de recursos Hídricos.

**CUADRO 1.1.2-1**
**RESUMEN ESTUDIOS REVISADOS**

| Acápite | Estudio |
|---|---|
| 2.1.2.1 | Estudio de Factibilidad Construcción Embalse Umiña-Camiña, Región de Tarapacá, DOH-Arrau Ingeniería E.I.R.L., 2010 |
| 2.1.2.2 | Levantamiento Hidrogeológico Para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. PUC-DGA, 2008 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 1.1.2-1**
**RESUMEN ESTUDIOS REVISADOS**

| Acápite | Estudio |
|---|---|
| 2.1.2.3 | Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos en Chile. IPLA LTDA-DGA, 1996. |
| 2.1.2.4 | Precipitaciones Máximas en 24, 48 y 72 horas, BF Ingenieros, 1989 |
| 2.1.2.5 | Balance Hídrico de Chile. DGA ,1987 |
| 2.1.2.6 | Evaluación de los Recursos de Aguas Superficiales de la Provincia de Iquique, IRH, 1983 |
| 2.1.2.7 | Hoyas Hidrográficas de Chile: Primera Región. DGA. Niemeyer, 1980. |
| 2.1.2.8 | Mapa Geológico de Tarapacá, DGA-Schultz, 1972 |

Fuente: Elaboración Propia

### 1.1.2.1. Estudio de Factibilidad Construcción Embalse Umiña-Camiña, Región de Tarapacá, DOH-Arrau Ingeniería E.I.R.L., 2010.

El estudio buscó la mejor opción para evitar los efectos dañinos de las crecidas de la quebrada por medio de una obra reguladora de crecidas. Se obtuvo como resultado el mejor emplazamiento técnico-económico de la embalse.

### 1.1.2.2. Levantamiento Hidrogeológico Para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile-DGA, 2008

El objetivo de este estudio fue el levantamiento, generación y análisis de información relevante de carácter hidrogeológico, para avanzar en el estudio de los recursos hídricos en el altiplano Chileno. Para esto se divide el informe en 10 partes:

- Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile.
- Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile.
- Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile.
- Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile.
- Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas.
- Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos.
- Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del "Domo".


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco.
- Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada.
- Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales.

De toda esta información, es de relevancia para este estudio la parte III, donde se ve el análisis de precipitaciones, temperaturas, evaporación y calidad química del sector norte de país. Específicamente, realiza una actualización de la isoyetas de precipitación media anual, periodos de sequía, análisis de caudales, años húmedos, isotermas, etc. Toda la información está actualizada hasta el año 2008. Este análisis se realizó con información complementaria de estaciones provenientes de Bolivia, Argentina y Chile, por lo que se considera un producto importante que se debe tomar en cuenta al momento de caracterizar la zona de estudio.
Los valores de evaporación, temperatura y precipitación fueron levantados con gran detalle, lo que permite contar con una base de información lo suficientemente representativa del sector altiplánico de Chile.

### 1.1.2.3. Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos en Chile. IPLA LTDA-DGA: (1996).

El estudio realiza una evaluación de las demandas actuales y futuras de los recursos hídricos en todas las cuencas del país y subcuencas principales, desarrollando una descripción de las cuencas por regiones y tipo, una estimación de los recursos subterráneos y estudios económicos.
En el estudio se presenta la Quebrada de Aroma como Subcuenca de la Hoya de la Pampa del Tamarugal la cual es caracterizada, según sus demandas agrícolas, de agua potable, para generación eléctrica, industriales y minerales.

### 1.1.2.4. Precipitaciones Máximas en 24, 48 y 72 horas, BF Ingenieros, 1989

En este informe se realizó el análisis de las precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas, pretendiendo proporcionar índices para la realización de estudios de crecidas, que permitan mejorar la información necesaria para el diseño de obras de evacuación y protección.
Para ello se recopiló la información presente en las estaciones pluviométricas de todo el país y se seleccionó, rellenó y corrigió aquellos registros con una extensión mayor a los 15 años en el periodo 1938-1987. Se incorporaron excepcionalmente, estaciones que no cumplían el requisito anterior pero que se ubicaban en zonas con escaza información.
Como resultado del estudio se obtuvo un mapa de isoyetas de precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas para un periodo de retorno de 10 años.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 1.1.2.5. Balance Hídrico de Chile. DGA, 1987

El estudio Balance Hídrico de Chile se comenzó en 1983, por parte de la Dirección General de Aguas, prolongándose la etapa de ejecución de estudios básicamente hasta el año 1986. Durante el año 1987 se efectuó una detallada revisión de los informes parciales, desarrollados principalmente a través de consultores, y se preparó una versión resumida, adecuada para su edición a nivel nacional.
Dentro de los resultados principales del proyecto, se encuentra un conjunto de gráficos y tablas que sintetizan valores y tendencias en niveles regionales, y que describen el comportamiento global de algunas variables utilizadas en el balance hídrico.
Actualmente este consultor posee las cartografías resultantes de este estudio en formato *shape* para ser utilizado en software de SIG.

### 1.1.2.6. Evaluación de los Recursos de Aguas Superficiales de la Provincia de Iquique, IRH, 1983

Este estudio tuvo como objetivo evaluar los caudales naturales de las cuencas y subcuencas de la provincia de Iquique, para diversos tipos de años hidrológicos.
Para el análisis de las cuencas estas se dividieron en Cuencas con descarga al Océano, Cuencas con Descarga a la Pampa del Tamarugal, Cuencas con Descarga al Río Loa y Cuencas Altiplánicas. La Cuenca de la Quebrada de Aroma que es analizada en el presente estudio pertenece a las Cuencas con Descarga a la Pampa del Tamarugal.
El Informe está ordenado en 8 capítulos, cada uno de los cuales se refiere a un aspecto especifico, los que se enumeran a continuación:

- Capítulo 1: Introducción.
- Capítulo 2: Caracterización de las Cuencas
- Capítulo 3: Recopilación de Antecedentes de Calidad Química del Agua.
- Capítulo 4: Recopilación, Elección y Preparación de Estadística de Datos.
- Capítulo 5: Análisis Estadístico de los Registros de las Estaciones Elegidas.
- Capítulo 6: Metodología para evaluar Cuencas sin Control.
- Capítulo 7: Evaluación de los Recursos Superficiales en las Cuencas.
- Capítulo 8: Conclusiones del Estudio.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 1.1.2.7. Hoyas Hidrográficas de Chile: Primera Región. DGA. Niemeyer, 1980.

Este estudio buscó disponer con cierto nivel de detalle de las principales hoyas hidrográficas de Chile, presentando las cuencas en sucesión de norte a sur y agrupadas en zonas geográficas, presentando características fisiográficas, climáticas, geológicas y principalmente hidrográficas e hidrológicas.
En este estudio se presenta la Quebrada de Aroma permitiendo surtir de un mayor número de antecedentes descriptivos y de uso en diversos capítulos del informe.

### 1.1.2.8. Mapa Geológico de Tarapacá, DGA-Schultz, 1972

La DGA planificó el estudio de las hoyas hidrográficas de todo el país en los aspectos geológicos e hidrogeológicos. El análisis en la región de Tarapacá fue llevado a cabo por la Sección de Geología del Departamento de Hidrología del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, como piloto.
En General presenta un Mapa Geológico de la antigua primera región de Chile, que incluía la Quebrada de Aroma.

## 1.1.3. Estudios Área Geológica y Geotécnica

En el cuadro 2.1.3-1 se incluyen los Estudios Revisados en el área de recursos Hídricos.

**CUADRO 1.1.3-1**
**RESUMEN ESTUDIOS REVISADOS**

| Acápite | Estudio |
|---|---|
| 2.1.3.1 | Mapa Geológico de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, 2003 |
| 2.1.3.2 | Evolución Cenozoica del piedemonte andino en la pampa del Tamarugal, norte de Chile, 18º-21º S.in Congreso Geológico Chileno, 4º, Antofagasta, 19-24 Agosto 1985. - Autor: Naranjo S., Jose A.; Paskoff, Roland |
| 2.1.3.3 | Carta Geológica de Chile (n.19-20) Cuadrángulos Camaraca y Azapa: Provincia de Tarapacá, escala 1:50.000. Instituto de Investigaciones Geológicas Tobar B., Alvaro ; Salas Y., Iván ; Kast, René F. 1968. |
| 2.1.3.4 | Geología del Área Neovolcánica de los Nevados de Payachata, Provincia de Tarapacá. Publicación Nº29 del Departamento de geología del a Universidad de Chile,1968 |
| 2.1.3.5 | Geología y recursos minerales del departamento de Arica: provincia de Tarapacá, boletín Nº21, SERNAGOMIN, 1966. |

Fuente: Elaboración Propia


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 1.1.3.1. Mapa Geológico de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, 2003

En 1960 se realizó la publicación del primer Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000 por el Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG, CORFO), institución que, en 1968, publicó un nuevo documento de este tipo. Una tercera versión fue preparada por el IIG y publicada en 1982 por SERNAGEOMIN, institución formada por la fusión del IIG y el Servicio de Minas del Estado. Finalmente, SERNAGEOMIN publicó en 2003 la presente versión del Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000, esta vez en formato tanto impreso como digital, incluyendo las coberturas cartográficas más relevantes.

Un mapa geológico a escala 1:1.000.000 es una representación conceptual de unidades que reflejan tiempos y procesos mayores, relevantes a escala de compilación y de influencia regional. Las unidades representadas en el documento reúnen a una o varias entidades geológicas formales (por ejemplo, 'formaciones') o informales, reconocidas en levantamientos de mayor detalle que se integran por analogía. La leyenda esquemática que acompaña al mapa, menciona solo aquellas unidades locales más representativas y conocidas, lo que facilitó su comprensión y las correlaciones en todo el territorio nacional.

El Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000 incorpora dos décadas de mapeo geológico y trabajo científico de geólogos del Servicio y la colaboración de investigadores externos (universidades y empresas). Información básica para este producto fueron los mapas geológicos publicados o inéditos, principalmente por el IIG y SERNAGEOMIN y, en menor proporción, los datos disponibles en artículos publicados en revistas científicas por investigadores de diferentes nacionalidades e instituciones.

En esta versión 2003 destaca la nueva información disponible para el norte del país, de impacto directo en la minería. Por otra parte, los nuevos antecedentes geológicos reunidos en las regiones Metropolitana y de Los Lagos, han constituido la base para la línea de mapas geoambientales de SERNAGEOMIN, de inmediata aplicación en el ordenamiento y gestión territorial. Hay también avances respecto a la versión de 1982 en la geología de la Patagonia chilena, donde se han incluido los resultados de nuevos estudios llevados a cabo por SERNAGEOMIN en Aisén y por la Empresa Nacional del Petróleo en Magallanes. Creemos que este documento contribuirá al conocimiento del medio físico nacional en uno de sus constituyentes primordiales y permitirá obtener guías que, en lo posible, orienten la toma de decisiones estratégicas de escala regional.

Actualmente este consultor posee las cartografías resultantes de este estudio en formato *shape* para ser utilizado en software de SIG.

### 1.1.3.2. Evolución Cenozoica del piedemonte andino en la pampa del Tamarugal, norte de Chile, 18º-21º S.in Congreso Geológico

**Chileno, 4º, Antofagasta, 19-24 Agosto 1985. - Autor: Naranjo S., Jose A.; Paskoff, Roland.**

En esta publicación se realiza una recopilación y análisis de la evolución del piedemonte de Andino, de acuerdo a los antecedentes volcánicos y avances tectónicos de la zona.
Cabe destacar que presenta un mapa geológico esquemático de los principales constituyentes del piedemonte andino entre los paralelos 18° y 21° sur del norte de Chile, quedando inserta la zona de de análisis del presente estudio.

### 1.1.3.3. Carta Geológica de Chile (n.19-20) Cuadrángulos Camaraca y Azapa: Provincia de Tarapacá, escala 1:50.000. Instituto de Investigaciones Geológicas Tobar B., Alvaro; Salas Y., Iván; Kast, René F. 1968.

En el resumen del estudio se indica que: Los Cuadrángulos Camaraca y Azapa, ubicados en la Cordillera de la Costa del ex Departamento de Arica (actualmente la región de Arica y Parinacota) entre los paralelos 18º30' - 18º45' latitud sur y meridianos 70º00' y 70º30' longitud oeste, incluyen afloramientos de roca estratificadas e intrusivas mesozoicas relativamente extensos, cubiertos discordantemente por rocas volcánicas y sedimentarias de edad terciarias y cuaternarias.
Los datos recopilados en dichos cuadrángulos no influyen ni tienen relevancia en el sector de Pintanane.

### 1.1.3.4. Geología del Área Neovolcánica de los Nevados de Payachata, Provincia de Tarapacá. Publicación Nº29 del Departamento de geología del a Universidad de Chile, 1968.

Los Nevados de Payachata son un conjunto de volcanes el Parinacota y el Pomerape, situados en la frontera que divide Bolivia y Chile. Ambos miden más de 6.000 msnm. Se encuentran situados dentro del Parque Nacional Lauca en Chile y en el parque Sajama en Bolivia.
Los datos recopilados en dicho boletín no influyen ni tienen relevancia en el sector de Pintanane.

### 1.1.3.5. Geología y recursos minerales del departamento de Arica: provincia de Tarapacá, boletín Nº21, SERNAGEOMIN, 1966.

En este boletín se da una caracterización geológica de la primera región entre las coordenadas 17º30' - 19º50' / 70º20' - 68º55', que corresponde por el norte al límite con


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Perú y por el sur a la Quebrada de Camarones. Los datos recopilados en dicho boletín no influyen ni tienen relevancia en el sector de Pintanane.

### 1.1.4. Estudios Área Agroeconómica

En el Cuadro 2.1.4-1 se incluyen los estudios revisados en el área de recursos Hídricos.

**CUADRO 1.1.4-1**
**RESUMEN ESTUDIOS REVISADOS**

| Acápite | Estudio |
|---|---|
| 2.1.4.1. | Catastro de Obras de Riego y Elaboración del Plan de Inversiones al Año 2018, Zona Norte – Regiones de Arica y Parinacota a Metropolitana. PROCIVIL-CNR, 2009 |
| 2.1.4.2 | Diagnóstico y Caracterización de los Problemas de Drenaje en Chile - 2007 |
| 2.1.4.3 | VI y VII Censo Nacional Agropecuario. INE, 1997 y 2007 |
| 2.1.4.4 | Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. AC Ingenieros Consultores Ltda.-DOH, 2003 |
| 2.1.4.5 | Sistema Integral de Riego Electrónico (e-SIIR). CNR, 2002 |
| 2.1.4.6 | Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial de Chile. CNR-CIREN, 1997 |
| 2.1.4.7 | Mapa Agroclimático de Chile. INIA, 1989 |
| 2.1.4.8 | Estudio Básico de Diseño de Estrategia de Introducción en Mercados del Cono Sur de América para Cultivos Horto-frutícolas de la Región de Tarapacá. Tomates para Consumo en Fresco, Olivas de Mesa en Salmuera o Conservadas, Limón Sutil, Ajos Frescos y Cebollas Frescas. SEREMI de Agricultura |
| 2.1.4.9 | Otros Antecedentes |

Fuente: Elaboración Propia

#### 1.1.4.1. Catastro de Obras de Riego y Elaboración del Plan de Inversiones al Año 2018, Zona Norte – Regiones de Arica y Parinacota a Metropolitana. PROCIVIL-CNR, 2009

En este estudio se hace un análisis a nivel de perfil del embalse Pintanane, en el que se describe que: *la agricultura en el sector es reducida y de subsistencia y la mayor parte de los agricultores son de la etnia Aymara. Por ubicarse en una zona árida de altura, el riego es una condición indispensable para la agricultura y con ella, para la sobrevivencia de la comunidad. Los productos agrícolas son, mayoritariamente, de tipo hortícola los que deben ser llevados a comercializar a Iquique y la alfalfa para la alimentación de auquénidos.*
*La abundancia de recursos hídricos es estacional y se produce entre los meses de Diciembre y Febrero, con el denominado "Invierno Altiplánico". Sin embargo, no cuentan con un embalse de regulación que permita guardar esos excedentes para distribuirlos durante el resto del año, en período de escasez. El no contar con un embalse de regulación ha impedido el desarrollo e*


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

*incremento de la superficie regada en forma eventual, que actualmente alcanza hasta unas 850 ha.*
*Parte de la superficie posible de regar con un embalse no tiene cultivos o se mantiene con vegetación natural, lo que permitiría no sólo asegurar el riego a los actuales productores sino que, principalmente, asentar nuevos agricultores en la zona.*
*La implementación del proyecto permitiría asegurar el riego a las 850 ha actuales e incorporar al riego permanente otras 490 ha equivalentes.*
*La distribución típica de tamaños del sector es la siguiente:*

**CUADRO 2.1.4.1-1**
**DISTRIBUCION TÍPICA DE TAMAÑOS**

| Tamaño Predial | Porcentaje en Superficie para el Sector |
|---|---|
| Pequeños (<20 ha) | 6% |
| Medianos (20-50 ha) | 27% |
| Grandes >50 ha | 67% |

Fuente: Elaboración Propia

*La distribución de cultivos actuales y proyectados a nivel de perfil, son los siguientes:*

**CUADRO 2.1.4.1-2**
**DISTRIBUCION DE CULTIVOS ACTUALES Y PROYECTADOS**

| Rubros Productivos Actuales | Rubros Productivos Futuros Proyectados con Embalse y Riego de Alta Seguridad para 490 ha |
|---|---|
| Papa | Papa |
| Maíz Choclo | Maíz Choclo |
| Alfalfa | Alfalfa |
| P. Natural | P. Natural |
| | Ajo |
| | Cebolla |

*Los potenciales beneficiarios serían directamente unos 203 agricultores que deberán ser arraigados en el valle, ya que actualmente existen sólo unas 30 personas en los lugarejos aguas abajo del embalse propuesto.*

## 1.1.4.2. Diagnóstico y Caracterización de los Problemas de Drenaje en Chile - 2007

En este estudio se han reconocido aquellas áreas que en la actualidad presentan problemas de mal drenaje y aquellas que han solucionado dichos problemas a través de obras de drenaje.
Esta información no fue considerada al momento de efectuar el diagnóstico de la situación actual del área.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 1.1.4.3. VI y VII Censo Nacional Agropecuario. INE, 1997 y 2007

Los antecedentes de estos informes son relevantes en la obtención del uso preliminar actual del suelo, la estratificación de las propiedades, infraestructura de riego y la obtención de rendimientos de algunas especies cultivadas en Chile.

### 1.1.4.4. Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. AC Ingenieros Consultores Ltda.-DOH, 2003

En este estudio se recopiló una gran cantidad de información en forma cartográfica. Entre los antecedentes de importancia para el presente proyecto se pueden considerar las siguientes variables: suelos, clima, población, red de canales y embalses, uso actual del suelo, proyectos bonificados por la Ley 18.450, etc.
Cabe señalar que la información de utilidad está referida a los aspectos cartográficos necesarios para preparar el mapa base.

### 1.1.4.5. Sistema Integral de Riego Electrónico (e-SIIR). CNR, 2002

Este sistema es una herramienta que busca poner al alcance del mayor número posible de usuarios (consultores, agricultores y estudiantes, entre otros), información en formato SIG (cartografías digitales shape) a escala nacional, regional y comunal sobre distintas coberturas relacionadas con el subsector riego.
El Sistema de Información Integral de Riego, surge como resultado del estudio "Diagnóstico de Riego en Chile" (2000 – 2002).
Es un Sistema de Información Geográfica, con una cobertura a nivel de todo el país y con una cartografía base a escala 1: 50.000.
Contiene información de aguas superficiales, aguas subterráneas, infraestructura de riego, medioambiente, agroclima, clasificación y uso del suelo, entre otras.
Entre las instituciones que colaboran, destacan la Dirección General de Aguas (DGA), la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y diferentes organizaciones de regantes. Lo anterior representa un gran logro del sistema ya que permite concentrar en un solo punto mucha información que anteriormente los usuarios debían buscar en diferentes instituciones y muchas veces en distintos puntos del país.
La información del SIIR para la Región de Tarapaca será utilizada en una amplia gama de temas relacionados con la presente consultoría, ya sea agroeconomía, medioambiente, hidrología, infraestructura, ingeniería, participación ciudadana, etc.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 1.1.4.6. Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial de Chile. CNR-CIREN, 1997

Este estudio corresponde a un instrumento de información técnica de la Comisión Nacional de Riego, que surge en el marco de las postulaciones a la ley 18.450, se hizo necesario contar con una evaluación sistemática de la evapotranspiración potencial en todo el territorio nacional, de modo de eliminar la heterogeneidad en la estimación de los valores presentados por los proyectistas, igualando las condiciones en la participación.
El objetivo principal fue disponer de una cartografía que dé cuenta del comportamiento espacial de la evapotranspiración potencial, con el propósito de estimar este parámetro en cualquier punto del territorio nacional continental. Para ello, fue confeccionada una cobertura de isolíneas georreferenciadas que permite la fácil ubicación de los proyectos de riego.
Se usó la cartografía de isolíneas de Evapotranspiración potencial en formato *shape* para ser usada en SIG, principalmente en el estudio agroeconómico y eventualmente en simulación hidrológica.

### 1.1.4.7. Mapa Agroclimático de Chile. INIA, 1989

Este estudio fue elaborado con el objeto de determinar las zonas agroclimáticas de todo el país. Para ello se partió de datos de clima, de los requerimientos climáticos de los cultivos y de antecedentes agronómicos.
La información existente en el Mapa Agroclimático incluye parámetros climáticos correspondientes a las siguientes variables: temperaturas máximas, mínimas y medias, suma térmica, días grados acumulados, horas frío acumuladas, radiación solar, humedad relativa, precipitaciones, evapotranspiración potencial, déficit hídrico, índices de humedad, número de heladas mensuales, etc.

### 1.1.4.8. Estudio Básico de Diseño de Estrategia de Introducción en Mercados del Cono Sur de América para Cultivos Horto-frutícolas de la Región de Tarapacá. Tomates para Consumo en Fresco, Olivas de Mesa en Salmuera o Conservadas, Limón Sutil, Ajos Frescos y Cebollas Frescas. SEREMI de Agricultura

Este estudio fue efectuado bajo las siguientes premisas y/o justificaciones:

- En el contexto de integración comercial por su particular ubicación geográfica, la región de Tarapacá presenta ventajas comparativas y fuertes dificultades a su actividad agropecuaria en el proceso de apertura económica, entre las primeras se encuentra su cercanía a los países de la región y las posibilidades de conexión a través de los llamados


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

corredores bioceánicos en relación al resto del país, y la calidad de sus productos, entre las segundas la dificultad de lograr volúmenes de comercialización que permitan posicionarse en los mercados extranjeros a la fecha reconocidos y que el abastecimiento mayoritario a éstos se origina en la zona centro norte y centro del país, en las cuales adicionalmente se han ido creando condiciones para un crecimiento agrícola y desarrollo agroindustrial mediante la incorporación de nuevos terrenos a cultivo y con seguridad de riego.

- En el ámbito nacional las variables involucradas y el tiempo de ejercicio requerido para la materialización de los acuerdos, dificultan una evaluación certera de las implicancias sobre la actividad agrícola regional. No obstante, se presumen variaciones positivas en el producto sectorial y por tanto en la demanda de trabajo, con tendencia a un crecimiento de rubros exportables y preferencia por incorporar procesos agro industriales, de darse una oportuna, decidida y sostenida penetración en los mercados de la región, cimentada en un adecuado y certero conocimiento de los mercados de interés para nuestros productos.
- En este sentido las perspectivas de incorporación de los productos primarios del sector a los mercados de la región y eventualmente la adquisición de valor agregado, según las demandas y ventajas en los mercados de destino, darían expectativas de mejoras en el comportamiento de la ocupación sectorial.
- La resolución de estrategias de ingreso a los canales de comercialización más atractivos en la región para nuestros productos de interés, permitirá aportar un elemento de decisión al comercio de éstos, por ejemplo; el comportamiento de los mercados en los países del cono sur es disímil, mientras en Buenos Aires los mercados mayoristas transan menos del 30% del volumen y los supermercados más del 50% (SENASA Web), en Lima los supermercados concentran hasta un 25% de las transacciones minoristas, y nuevamente en San Paulo el mayor volumen lo transan los supermercados, sin embargo en las ciudades de Corumbá y Campo Grande – en ruta a Sao Paulo- el canal de distribución son Terminales Mayoristas.
- Adicional al conocimiento de los canales de comercialización los márgenes de utilidad alcanzables por nuestros productos en cada uno de ellos determinan su atractivo, determinado el resultado económico por las épocas de ingreso y costos implicados, no obstante, el acceso está condicionado por los volúmenes de transacción, su ciclicidad y periodicidad de abastecimiento, sobre la base de acceder con productos con amplias posibilidades de aceptación.
- Un aspecto fundamental en la evaluación de los canales de comercialización son las rutas de envíos, en la estrategia de integración regional se hace frecuente referencia a los Corredores Bioceánicos, con distintas propuestas según las ciudades involucradas y los intereses en disputa. El resultado en los márgenes de comercialización por efecto del transporte y eventualidades por las características físicas y operacionales de la ruta, pueden llegar a ser negativos dependiendo de las variables anteriores. Por tal motivo, se

requiere evaluar el costo de las distintas alternativas, de forma de dar seguridad al negocio una vez determinadas ventajas comparativas para nuestros productos en los mercados indicados.

Lo anterior, será de utilidad en los criterios de asignación de cultivos para la situación futura o con proyecto del área en estudio.

### 1.1.4.9. Otros Antecedentes

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA): Se utilizará para la elaboración de las fichas técnico-económicas dos estudios efectuados por esta institución en conjunto con el Ministerio de Agricultura de Chile. Estos estudios corresponden a "Coeficientes Técnicos de Producción de las Principales Hortalizas del País", 1990 y "Coeficientes Técnicos de Producción de los Principales Frutales del País", 1990.
- Universidad de Chile: III Curso Interamericano Diseño de Proyectos de Riego y Drenaje, 1995. Este estudio sirve de guía en la adecuación predial de riego en el área del presente proyecto.
- Horacio Merlet, Evapotranspiración Potencial y Necesidades Netas de Agua de Riego en Chile, 1986. Se utilizará este estudio para verificar y complementar la determinación de las necesidades de agua de riego
- Vicente Giaconi, Cultivo de Hortalizas, 1998. Se utilizará esta información en la elaboración de las fichas técnico económicas de hortalizas, entre otros.
- Estándares Técnicos Programa Fortalecimiento de las Capacidades de Formulación y Evaluación de Proyectos para la Pequeña Agricultura. ODEPA. 1993.
- Revista Agroeconómico, Fundación Chile (Diversos Números).
- Manual Fitosanitario, AFIPA A.G.
- FAO Nº 24 y Nº 56: El FAO Nº56 fue elaborado en el año 1990 y contiene información más actualizada que el FAO Nº24 que corresponde al año 1976, para verificar y complementar los factores de cultivo en la determinación de las necesidades de agua de riego.

## 1.1.5. Estudios Ambientales

En el Cuadro 2.1.5-1 se incluyen los Estudios Revisados en el área Ambiental.

**CUADRO 1.1.5-1**
**ESTUDIOS REVISADOS, ÁREA AMBIENTAL**

| Acápite | Estudio |
|---|---|
| 2.1.5.1 | La Vegetación Natural de Chile. Gajardo, 1994. |

**CUADRO 1.1.5-1**
**ESTUDIOS REVISADOS, ÁREA AMBIENTAL**

| Acápite | Estudio |
|---|---|
| 2.1.5.2 | Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. CONAF-CONAMA, 1999. |
| 2.1.5.3 | Estrategia y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica la Región de Tarapacá (CONAMA Región de Tarapacá, 2002) |
| 2.1.5.4 | Sinopsis Bioclimática de Chile (Pliscoff y Luebert, 2006) |
| 2.1.5.5 | Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE). CONAF (1984) |
| 2.1.5.6 | Decreto Supremo N° 75: Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres y Decreto supremo N° 33: Aprueba y oficializa clasificación de especies, según su estado de conservación, distintos procesos. |
| 2.1.5.7 | Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la ecorregión altiplánica (SVAHT) Servicio Agrícola y Ganadero (2009) |
| 2.1.5.8 | Alcances sobre flora y vegetación de la Cordillera de Los Andes región de Arica y Parinacota y región de Tarapacá. Segunda Edición. Servicio Agrícola y Ganadero (2009) |
| 2.1.5.9 | Acuíferos Protegidos que alimentan vegas y bofedales de las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta. |
| 2.1.5.10 | Informe Técnico N° 607 Declaración área restricción sector hidrogeológico Pampa del Tamarugal |
| 2.1.5.11 | Catastro de humedales y usos indígenas de la provincia del Tamarugal Etapas 1 y 2. |

Fuente: Elaboración propia

### 1.1.5.1. La Vegetación Natural de Chile. Gajardo, 1994.

Este estudio ofrece una clasificación jerárquica de la vegetación natural de Chile y presenta una cartografía de las formaciones vegetales potenciales del territorio chileno. Fue elaborada con el apoyo de las más avanzadas tecnologías, incluidas imágenes satelitales, y se complementa con apéndices de gran utilidad para especialistas. Entrega información indispensable para el estudio del paisaje vegetal, así como para el desarrollo de la planificación regional y nacional.
Actualmente, este consultor posee las cartografías resultantes del estudio acá descrito en formato *shape* para ser usado en SIG y el libro con las descripciones detalladas.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 1.1.5.2. Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. CONAF-CONAMA, 1999.

Este estudio contiene los mapas y resultados finales del país del uso actual de la tierra y sus relaciones con las variables ambientales, pendiente, exposición y rangos de altitud.
El documento consta de dos partes: I. Análisis global, en el cual se presentan y comentan los cuadros y cifras más relevantes para el país y II. Análisis detallado con cuadros desagregados por Región.
Además entrega mapas digitales en formato *shape* (SIG), en escala 1:50.000 a 1:250.000 para todo el territorio nacional, los cuales se encuentran actualmente en posesión de este consultor. Esta información será usada para el Estudio de Análisis Ambiental.

### 1.1.5.3. Estrategia y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica la Región de Tarapacá (CONAMA Región de Tarapacá, 2002)

La presente estrategia regional, corresponde a una directriz de las acciones destinadas a la conservación y uso sustentable de la biodiversidad regional. Las acciones que de ella se desprenden, son un compromiso voluntario que contraen los actores participantes (diversos organismos públicos y privados), así pues su efectividad surge del respeto a estos compromisos, dado que éstos no están legalmente obligados a concretarlos, sin embargo es claro que la motivación de ésta, puede crear la cohesión social necesaria para resolver los complicados problemas a los que nos enfrentamos, en los que hay que considerar factores biológicos, sociales, económicos y políticos, un ejercicio de profundización democrática, que pasa también por asumir que la responsabilidad de conservar la biodiversidad en la región.
El documento fue elaborado por CONAMA Región de Tarapacá, quien ha sido el eje coordinador del trabajo de un amplio grupo de organismos públicos, privados, académicos, ONG's, y otros agentes involucrados con la problemática ambiental, el manejo sustentable de los recursos naturales renovables y principalmente con la conservación de la diversidad biológica de nuestra región, los que a través de sus aportes, han permitido obtener una visión amplia del estado de la biodiversidad regional.
El objetivo general del documento fue definir una Estrategia y un Plan de Acción Regional a cinco años, que de manera participativa y consensuada, incorpore un conjunto ordenado de objetivos, prioridades y acciones, tendientes a la conservación y uso sustentable de la biodiversidad. En este proceso se ha definido un conjunto de sitios prioritarios de biodiversidad, cuya ubicación será posteriormente considerada en el Estudio de Análisis Ambiental de la presente consultoría.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 1.1.5.4. Sinopsis Bioclimática de Chile (Pliscoff y Luebert, 2006)

Este estudio ofrece una visión sinóptica de los bioclimas y de la vegetación de Chile continental, a partir de la aplicación de una metodología que consiste en combinar información bioclimática y vegetacional, sobre la base del estudio de las fuentes documentales disponibles. Esta propuesta identifica 4 macrobioclimas en Chile continental: Tropical, Mediterráneo, Templado y Antiboreal, dentro de los que se distribuyen 12 bioclimas. La clasificación de la vegetación se compone de 127 unidades básicas denominadas Pisos de Vegetación, que corresponden a complejos de comunidades vegetales bajo la influencia de condiciones climáticas específicas, que se agrupan en 17 Formaciones Vegetales.

Finalmente se presenta un análisis del estado de conservación de la vegetación de Chile sobre la base de la proporción en que cada piso de vegetación ha sido reemplazado por actividades humanas y de su representación en las áreas protegidas del Estado.

Actualmente, este consultor posee la cartografía resultante de pisos vegetacionales en formato *shape* (SIG), la cual ha sido obtenida del sitio web del Sistema de Información Ambiental SINIA, dependiente de CONAMA. Esta información será utilizada principalmente dentro del Estudio de Análisis Ambiental.

### 1.1.5.5. Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE). CONAF (1984)

El Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), es un programa de cobertura nacional, ejecutado y administrado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Desde 1984, la creación de la Ley Nº 18.362, regula sus funciones objetivos.

El SNASPE es responsable de las áreas silvestres en ambientes naturales que cuentan con la protección legal del Estado de Chile. En la actualidad el sistema cuenta con 96 unidades, distribuidas en 33 Parques Nacionales, 48 Reservas Nacionales y 15 Monumentos Naturales, equivalentes a 14.000.000 ha aproximadamente, lo que corresponde al 19% del territorio nacional.

Este consultor posee las cartografías digitales en formato shape de los distintos sitios protegidos pertenecientes al SNASPE, las cuales han sido obtenidas desde el servidor SINIA dependiente del Ministerio del Medio Ambiente.

### 1.1.5.6. Decreto Supremo N° 75: Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres y Decreto supremo N° 33: Aprueba y oficializa


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**clasificación de especies, según su estado de conservación, distintos procesos.**

Para unificar los listados y los criterios de clasificación de especies nativas a nivel nacional, se definió jurídicamente la obligación de elaborar un procedimiento científico-técnico para determinar la categoría de conservación de estas especies; estableciéndose además las categorías a utilizar, a saber: Extinguidas (Extintas), En Peligro, Vulnerable, Insuficientemente Conocida, Rara y Fuera de Peligro,
En el año 2005 se publicó el Decreto Supremo N° 75, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, mediante el cual se oficializó el Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres, dando cumplimiento al requerimiento de la Ley 19.300, posteriormente y con base en los estudios y registros de especies anteriores se han ido publicando, en distintos procesos, las especies que clasifican dentro de las categorías de conservación mencionadas mediante versiones del Decreto Supremo N°33.

### 1.1.5.7. Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la ecorregión altiplánica (SVAHT) Servicio Agrícola y Ganadero (2009)

El propósito de esta publicación es presentar una clasificación de la vegetación azonal hídrica terrestre de humedales altiplánicos que permitan agruparlos por similitud de funcionamiento y entregar criterios de evaluación, manejo y seguimiento para aquéllas que estén siendo afectados por actividades de extracción de agua, además de una pauta de evaluación de impactos de proyectos que intervienen humedales, con los criterios aplicados por el Servicio en el marco del SEIA y, finalmente, se presenta una guía descriptiva de las principales especies vegetales presentes en humedales altiplánicos.
El contenido de esta guía se basa fundamentalmente en antecedentes bibliográficos, estudios realizados por encargo del SAG y estudios y seguimiento de proyectos realizados directamente este Servicio sobre dinámica de cambio de vegetación azonal hídrica terrestre.

### 1.1.5.8. Alcances sobre flora y vegetación de la Cordillera de Los Andes región de Arica y Parinacota y región de Tarapacá. Segunda Edición. Servicio Agrícola y Ganadero (2009)

El objetivo de este trabajo, fue presentar un documento que contenga información básica sobre parte de la flora y vegetación que habita en los distintos pisos altitudinales de los Andes de Arica e Iquique. Como fuente, se utilizaron diversos estudios científicos, además de información obtenida a partir de muestreos de vegetación realizados por profesionales del Servicio Agrícola y Ganadero.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Las áreas principales que se estudiaron en el presente trabajo, se insertan en las provincias biogeográficas Puneña y Altoandina, de acuerdo a Cabrera y Willink (1973), ambas situadas al este del desierto absoluto.
En forma complementaria, también se hace alusión a un tipo de matorral preandino, que se ubica en elevaciones inferiores (menos de 3.100 m de altitud) y que es parte de otra provincia biogeográfica: la del Desierto.
Se presentan en forma resumida, las principales formaciones y comunidades vegetales, mencionando algunas de las especies que son representativas de los distintos pisos. De esta manera, se espera contribuir a la divulgación de una parte de la biota de los Andes del extremo norte de Chile y destacar la importancia que tiene su conservación, considerando que muchas especies puedan estar amenazadas, debido a acciones de sobrecolecta o a destrucciones paulatinas de los ambientes donde habitan.

### 1.1.5.9. Acuíferos Protegidos que alimentan vegas y bofedales de las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta.

La Dirección General de Aguas (DGA), en el año 1992, modificó los artículos 58 y 63 del Código de Aguas en el sentido de prohibir la exploración y explotación de aguas subterráneas en los acuíferos alimentadores de las vegas y bofedales de las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta. Este cambio en la legislación permitió establecer medidas de protección de estos ecosistemas únicos y del uso ancestral que las comunidades habían hecho de ellos.
A partir del año 1993 la DGA comenzó a realizar estudios para identificar y ubicar áreas de vegas y bofedales y delimitar sus acuíferos alimentadores, lo que significó en 1996 dictar la Resolución DGA N° 909 que delimitó dichos acuíferos. Lo anterior implica, que en dichas áreas no es posible autorizar exploraciones de aguas subterráneas ni constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas si no se cuenta previamente con una evaluación ambiental favorable. En las regiones de Arica y Parinacota, y Tarapacá quedaron protegidos 139 humedales, con una superficie aproximada de 335 km$^2$, equivalentes al 0,5% del total de la superficie regional. En la región de Antofagasta se protegieron 167 humedales con una superficie asociada de 2.798 km$^2$, equivalentes al 2,22% de la superficie total de la región.
En el año 2003 mediante la Resolución DGA N°.529 se modificó la delimitación de estos acuíferos para la región de Antofagasta, quedando protegidos 228 humedales y una superficie de 5.149 km$^2$ equivalentes al 4,07% de la superficie total regional.
En el 2006, la resolución DGA N°464 vuelve a modificar la norma en el sentido de incorporar un nuevo bofedal (bofedal de Caquena) en la Región de Antofagasta.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 1.1.5.10. Informe Técnico N° 607 Declaración área restricción sector hidrogeológico Pampa del Tamarugal

El informe tiene por objeto resolver la solicitud de declaración de Área de Restricción para el sector acuífero Pampa del Tamarugal.
Entrega como antecedentes que la delimitación abarca una superficie de 4.845 km$^2$ y que la recarga del mencionado acuífero se produce a través de la infiltración de aguas superficiales de los ríos originados en la Cordillera de los Andes, y por aguas subterráneas provenientes de otras cuencas orientales vecina. Los tipos de recarga los asimila a dos causas, por un lado recarga por infiltración con un valor cercano al 90% del total de la recarga y a recargas subterráneas con un valor cercano al 10% del total
En este informe se determina que los usos previsibles de la demanda comprometida al 30 de Junio de 2009 en el sector acuífero Pampa del Tamarugal superan con creces la explotación sustentable de este sector lo que ocasionaría descensos sostenidos de sus niveles, provocando reducciones superiores al 5% en el volumen embalsado en un plazo de 50 años. Se concluye entonces, que en el sector acuífero Pampa del Tamarugal se cumplen las condiciones señaladas en el artículo 65 del Código de Aguas y en el artículo 31 letra b) de la Resolución DGA Nº 425 de 2007, por lo tanto, procede que la Dirección General de Aguas declare Área de Restricción para nuevas extracciones de agua subterránea en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común de Pampa del Tamarugal
Finalmente, mediante la Resolución D.G.A. N° 245, se declara como área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas al sector hidrogeológico en cuestionamiento.

### 1.1.5.11. Catastro de humedales y usos indígenas de la provincia del Tamarugal Etapas 1 y 2.

Este informe fue elaborado por el Centro de Estudios del Desarrollo (CED) a través del Centro de Estudios de Humedales de Pica y contiene los principales resultados obtenidos del estudio "Catastro de Humedales existentes en la Región de Tarapacá y la injerencia y participación de las comunidades indígenas en su uso años 2011 y 2012" solicitado por la subdirección norte de la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena.
El estudio contempló la recopilación de información pertinente y relevante disponible en instituciones públicas y privadas de la Región de Tarapacá, la realización de campañas de terreno en humedales del altiplano precordillera, pampas y quebradas de la provincia del tamarugal, la elaboración de fichas descriptivas de los aspectos físico-naturales y humanos, la elaboración de fichas descriptivas de la información disponible para los humedales catastrados y la generación de cartografía especifica de la vegetación azonal en 18 humedales seleccionados.
La información fue utilizada para la elaboración de la línea base del Estudio de Análisis Ambiental y para la identificación de zonas vulnerables desde el punto de vista ecosistemico.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## 1.1.6. Estudios Legales.

### 1.1.6.1. Catastro de Usuarios Quebrada de Aroma 1983

Se realizó un catastro de usuarios de toda la quebrada de Aroma en 1983. La metodología utilizada fue la siguiente: Se tomó contacto con las autoridades comunales, medios de comunicación y otros, a fin de solicitar colaboración de los dueños de predios agrícolas en la zona en estudio. Se contactaron a los integrantes de las organizaciones de existentes en Chiapa, Jaiña e Illaya a fin de obtener información, contratar alarifes y ubicar a los dueños de predios no presentes. No existían planos confiables de la zona de estudio por lo que se realizó un levantamiento total de los predios agrícolas existentes.
Se encontró que no existían usuarios desde la confluencia de las quebradas Chusmisa y Aroma hacia el poniente, excepto en el lugar denominado Ariquilda (aprox. unas 5 ha), en donde se inicio el catastro y utiliza gran parte del caudal de la quebrada.
Se realizaron encuestas en cada predio si se utilizaba agua de dos ó más canales.
Se logro una captación de aproximadamente el 40% de los Roles de Avalúo fiscal, el resto no fue posible obtenerlo.
Los usuarios de agua de la quebrada de Aroma se encuentran organizados en una comunidad dirigida por un "alcalde de aguas" quien es elegido por los agricultores. Este alcalde tiene las máximas atribuciones y puede cambiar, licitar, vender, ceder, etc.
Finalmente, se hazo el catastro de las bocatomas Chujllane y Ariquilda y sus canales secundarios, derechos de agua y usuarios.

## 1.1.7. Antecedentes Cartográficos y Espaciales

Los antecedentes cartográficos que se encuentran a disposición del consultor para el presente estudio se enlistan a continuación, en el Cuadro 2.1.7-1 acompañado de una breve descripción. Dichas cartografías se encuentran en formato *shape,* para ser desplegadas y procesadas en software de Sistemas de Información Geográfica (SIG), a partir de lo cual, se pueden exportar las distintas capas de información a otros programas como Autocad.

**CUADRO 2.1.7-1**
**ANTECEDENTES CARTOGRÁFICOS Y ESPACIALES**

| Temática | Cobertura | Institución y/o Fuente |
|---|---|---|
| **Mapa político** | División Político Administrativa (1:50.000) | e-SIIR CNR |
| **Mapas base** | Red de Cauces Naturales (1:50.000) | SIG DGA |
| | Red Regional de Caminos (1:50.000) | e-SIIR CNR |
| | Toponimios (localidades, centros poblados, orografía) (1:50.000) | e-SIIR CNR |
| | Curvas de Nivel IGM (1:50.000) | e-SIIR CNR |
| **Hidrología** | Red Estaciones fluviométricas | Elaboración propia a partir de DGA |
| | Red Estaciones meteorológicas | Elaboración propia a partir de DGA |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 2.1.7-1**
**ANTECEDENTES CARTOGRÁFICOS Y ESPACIALES**

| Temática | Cobertura | Institución y/o Fuente |
|---|---|---|
| | Red Estaciones Meteorológicas Dirección Meteorológica de Chile (DMC) | Elaboración propia a partir de DMC |
| | Isoyetas Anuales (1:1.000.000) | Balance Hídrico de Chile, DGA (1987) |
| | Isolíneas ETP anual (1:1.000.000) | CNR |
| | Mapa de Cuencas Hidrográficas (1:50.000) | E-SIIR/DGA |
| **Vegetación y Biodiversidad** | Sitios prioritarios biodiversidad CONAMA (1:250.000) | SINIA-CONAMA |
| | SNASPE CONAF (1:250.000) | SINIA-CONAMA |
| | Uso del suelo CONAF-CONAMA (1:250.000) | e-SIIR /CONAMA |
| | Formaciones Vegetacionales (1:1.000.000) | Rodolfo Gajardo (1994) |
| | Pisos Vegetacionales (1:1.000.000) | Pliscoff y Lubert (2006) / SINIA-CONAMA |
| | Mapa Vegas, bofedales y acuíferos protegidos DGA. | DGA |
| **Riego y Agroeconomía** | Distritos Agroclimáticos (1:1.000.000) | e-SIIR CNR |
| | Red de Canales (1:50.000) | e-SIIR CNR |
| | Red de Bocatomas (1:50.000) | e-SIIR CNR |
| | Catastro Singularidades Canales DGA | e-SIIR CNR |
| **Información topográfica Satelital** | Modelo Digital de Elevación - SRTM (90 m) | Servidor USGS |
| | Modelo Digital de Elevación Aster GDEM (30 m) | Servidor ERSDAC |
| | Imagen Satelital de Alta Resolución Geoeye, disponible a través del servidor de ArcGis on line. | Bing Maps |

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se considera como información relevante la topografía realizada en el estudio de SIGA, Diagnóstico Manejo de Cauce Quebrada de Tarapacá, región de Tarapacá que se revisa en la sección de estudios del área civil. Con esta información se pudo amarrar la topografía de la quebrada de Aroma que se hará en el presente estudio.

## *1.2. revisión periodistica de desastres*

### 1.2.1. Revisión de Antecedentes de Prensa

Para desarrollar este objetivo el primer paso fue realizar una revisión de antecedentes de prensa, con el fin de identificar los hitos históricos de crecidas del Río Aroma y sus afluentes, y los daños producto de estas en el área de estudio.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Esta búsqueda se realizó a través de la revisión de los archivos de prensa existentes en la Biblioteca Nacional, consultando los siguientes los medios escritos que figuran en el Cuadro 2.2.1-1. Es importante indicar se revisó información desde el año 1911 hasta el año 2012.

**CUADRO 1.2.1-1**
**MEDIOS DE PRENSA ESCRITA REVISADOS PARA LA RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES.**

| Nombre | Año fundación | Circulación |
|---|---|---|
| El Mercurio | 1906 | Nacional |
| La Tercera | 1950 | Nacional |
| El Tarapacá | 1894 | Regional |

Fuente: Elaboración Propia

La revisión se estos periódicos se realizó buscando la siguiente información:

- Eventos del invierno altiplánico que han afectado al área de estudio.
- Crecidas del Río Aroma.
- Antecedentes de daños producidos por los eventos anteriores (pérdidas de viviendas, daños en los cultivos, cortes en los caminos, etc.) y localidades afectadas dentro de la Comuna de Huara.
- Respuesta de las autoridades públicas frente a estos eventos.
- Identificar montos de los daños y/o inversiones para recuperación del área afectada.

En el Cuadro 2.2.1-2, se presenta un resumen de los antecedentes recopilados en la prensa, indicando tanto la fecha, el lugar afectado así como las características más relevantes de la noticia. En este Cuadro se incluye además la revisión complementaria realizada en medios de prensa en formato digital.

**CUADRO 1.2.1-2**
**MEDIOS DE PRENSA ESCRITA REVISADOS PARA LA RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES**

| Desastres en Comuna de Huara 1900-2012 | | |
|---|---|---|
| **Fecha Inicio** | **Fuente** | **Observaciones de efectos** |
| 01-03-1911 | Desastres asociados al clima en la agricultura y medio rural en Chile 2009 | Entre Huara y Pozo Almonte se formó una gran laguna que suspendió el tráfico del ferrocarril […] Las comunicaciones entre Arica y Tacna se interrumpieron debido a los desbordes del río en esta última ciudad" (Urrutia y Lanza, 1993). |
| 01-01-1944 | Desastres asociados al | En la localidad de Santa María el agua arrastró las carretas y los animales. Por causa de las inundaciones, los pequeños agricultores perdieron sus |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 1.2.1-2
## MEDIOS DE PRENSA ESCRITA REVISADOS PARA LA RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES

| Desastres en Comuna de Huara 1900-2012 | | |
|---|---|---|
| | clima en la agricultura y medio rural en Chile 2009 | siembras, enseres y animales. Varios rodados cortaron los caminos cercanos a San Felipe. El agua provocó grandes avenidas en el norte del país, quedando cortados los caminos en Huara y Quebrada Seca. Los pequeños agricultores perdieron sus siembras, enseres y animales (Urrutia y Lanza, 1993). |
| 04-01-1972 | El Tarapacá / El Mercurio | Tempestad eléctrica, lluvias torrenciales y granizo azotan pueblos de la Cordillera. No se tienen mayores detalles |
| 01-02-1998 | El mercurio | En las zonas de Huara y Camiña, aluviones provocados por el invierno altiplánico destruyen cosechas, casas y caminos. Autoridades regionales acuden al lugar y ofrecen ayuda enviando alimentos de primera necesidad, forraje para los animales, materiales de construcción y mediaguas para las personas más desvalidas. Se reparan los caminos destruidos por el agua. |
| 11-03-1999 | El mercurio | Las lluvias que afectaron la II Región correspondían al invierno altiplánico. El desborde de ríos inunda calles y terrenos agrícolas en Arica, en Iquique hubo inundaciones y corte de caminos. En la comuna de Colchane murieron dos mil camélidos. Los pueblos de Pumire y de Brenguela quedaron aislados. La ruta internacional entre Huara y Colchane quedó interrumpida y varios caminos quedaron destruidos. Se destruyeron viviendas en los sectores de Cariquina y de Casas Blancas (La Red, 2001). |
| 22-01-2000 | El mercurio | Corte de caminos y aislados: Huaviña Lauzana Pachica y Chiapa |
| 04-02-2000 | El mercurio | Localidades de Oscana y Coscaya en Huara aislados por corte de caminos |
| 01-03-2010 | Desastres asociados al clima en la agricultura y medio rural en Chile 2009 | La economía de la comuna de Huara resultó seriamente dañada con la crecida de los ríos. El exceso de agua que cayó por las quebradas inundó sin compasión cultivos y chacras de pequeños agricultores, desestabilizando a esta pequeña localidad ubicada en la provincia del Tamarugal, región de Tarapacá. |
| 03-07-2011 | El mercurio | Fuertes precipitaciones y nevazones que generaron cortes en ruta internacional 15-CH, dejando automóviles (atrapados), accidentes de tránsito, y cerca de 50 poblados aislados en las comunas de Colchane, Huara, Camiña y Pica por acumulación de nieve. Se declara emergencia agrícola en las comunas de Colchane y Huara. Tormenta de viento y arena en la comuna de Huara. Se registra como el temporal más intenso en los últimos 20 años. |
| 15-03-2012 | El mercurio | Cuatrocientos damnificados en la quebrada de Huara, Limaxina, Sibaya, Mocha, Achacagua. El gobierno decretó zona de catastrofe en las comunas de Camiña y Huara. |

Fuente: Elaboración propia con base en El Mercurio, El Mercurio de Calama y El Mercurio de Antofagasta, periodo 1925 – 2012.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## 1.2.2. Daños Producidos por Crecidas

En esta acápite se realizará un análisis preliminar sobre los daños que producen las crecidas del río de la quebrada en cuestión en los distintos sectores socioeconómicos del área del proyecto: infraestructura, propiedades rurales, suelos urbanos y otros, e incluye una estimación de la frecuencia con que se producen estos eventos, de su magnitud y del monto de los daños producidos por las crecidas históricas.

En general, de la revisión de la prensa se aprecia que en los diferentes medios consultados la información publicada abarca los efectos del invierno altiplánico en toda la región de Tarapacá o en la totalidad de la Provincia del Tamarugal, haciendo especialmente alusión a los problemas en los caminos o a las alteraciones de suministro de los servicios básicos como luz y agua potable.

Los eventos que han sido identificados en la información periodística hacen referencia casi en su totalidad a eventos intensos de precipitaciones que han afectado a la totalidad de la Provincia, y que en el caso del área de estudio correspondiente a la zona comprendida aguas abajo de la posible localización del embalse (comuna de Huara) no han causado estragos mayores, con excepción de algunos años, en los cuales el invierno altiplánico ha sido de mayor intensidad y ha causado daños mayormente en los caminos de acceso y algunas carreteras.

Escasean antecedentes en la prensa relacionados con la cuantificación económica de los impactos de este fenómeno o la estimación de las pérdidas en cuanto a agricultura o infraestructura, no se hace referencia a los caudales escurridos ni a cifras, sino que es información más general. Ante este escenario a partir de la información recopilada no es posible construir una clara idea de los problemas que afectan al área, en cuanto a la productividad, puesto que no existen cifras exactas. Esto se debe fundamentalmente a que las noticias se preocupan de los impactos instantáneos, y no de los efectos de largo plazo que puedan tener las crecidas y aluviones ocasionados por el invierno altiplánico.

Se puede identificar que las zonas más afectadas tanto por las lluvias y nevazones, como por los eventos de crecidas son las rutas comprendidas entre Pozo Almonte y Huara, la ruta hacia Colchane en donde han quedado muchas veces vehículos atrapados por las grandes nevazones, rutas entre zonas aledañas de la comuna de Huara.

Las mayores crecidas que hubo en la comuna fueron las del año 2011 y el 2012 de las que se puede rescatar lo siguiente:

**De los daños estructurales:**

- Los principales daños estructurales se han producido por el corte parcial o total de los caminos que unen localidades de la comuna y el camino hacia Colchane (Ruta 15 CH) en donde han quedado muchas personas atrapadas por efecto de las nevazones.

**De los daños a la población:**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- En cuanto a los daños del evento producido en el año 2012 no se especifican mayores antecedentes sobre los montos de los daños, sin embargo, se declara Zona de Catástrofe a varias localidades entre ellas la comuna de Huara. Personas aisladas en el sector de Bajo Soga.
- En cuanto a los daños de viviendas, se habla de 400 damnificados entre las quebradas de Huara, Limaxina, Sibaya, Mocha y Achacagua. Aproximadamente 50 familias en la comuna de Huara
- En el caso de la agricultura, se habla de cultivos y chacras destruidas de pequeños agricultores por las inundaciones, animales muertos por las crecidas.

**De las reacciones ciudadanas:**

- En términos generales no aparecen muchas en la prensa local, excepto el año 2012, en que hay declaraciones del Alcalde y funcionarios municipales. Además de esto, impresiones de dirigentes vecinales respecto a los daños en las diferentes localidades.

# 2. DIAGNOSTICO Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

## *2.1. CARACTERIZACION GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO*

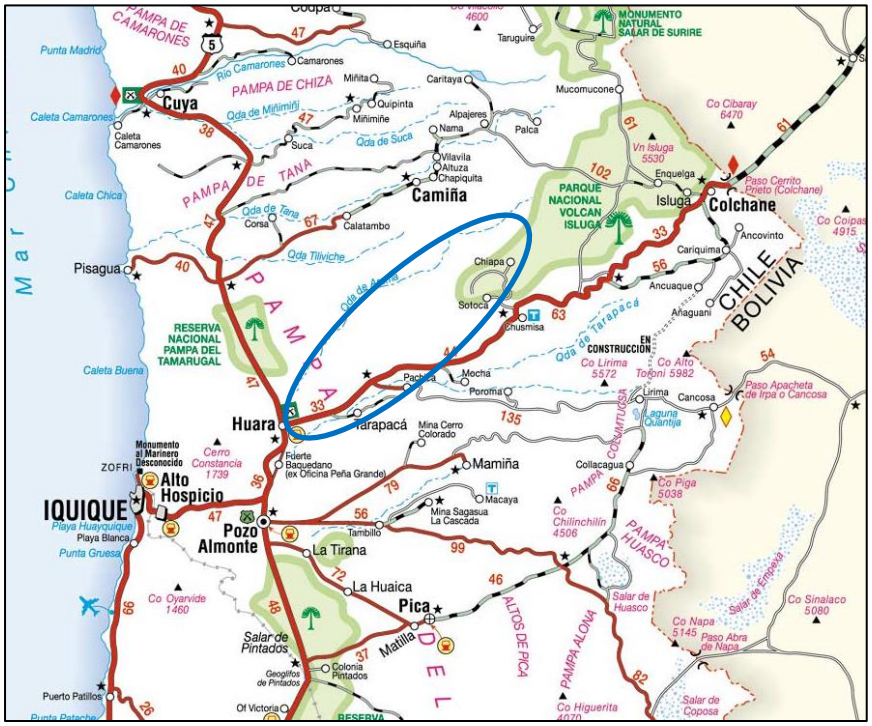
### 2.1.1. Ubicación del Área del Proyecto

El área de estudio (Figura 3.1.1-1) se encuentra inserta en la Quebrada de Aroma, la que nace en la Cordillera Central a una altura de 4.200 m.s.n.m., en el límite poniente del altiplano chileno, en la comuna de Huara, región de Tarapacá. Esta obra se ubicaría aguas abajo de la localidad de Aroma en la quebrada del mismo nombre, entre los 1.900 y 2.000 m.s.n.m., en un sector denominado Misticsa.

La hoya de la quebrada de Aroma se desarrolla en el sector central de la provincia de Arica, entre los paralelos S 19º29' y 19º58' y entre los meridianos O 69º03' y 69º52', comprendiendo una superficie de 1.225 km$^2$ hasta el sector del muro de embalse. Limita al norte con la hoya de la quebrada Soga, al sur con la hoya de la quebrada de Tarapacá, al oriente limita con la pampa de Colchane y las zonas adyacentes del volcán Isluga y al poniente con la pampa del Tamarugal.

**FIGURA 2.1.1-1**
**UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl



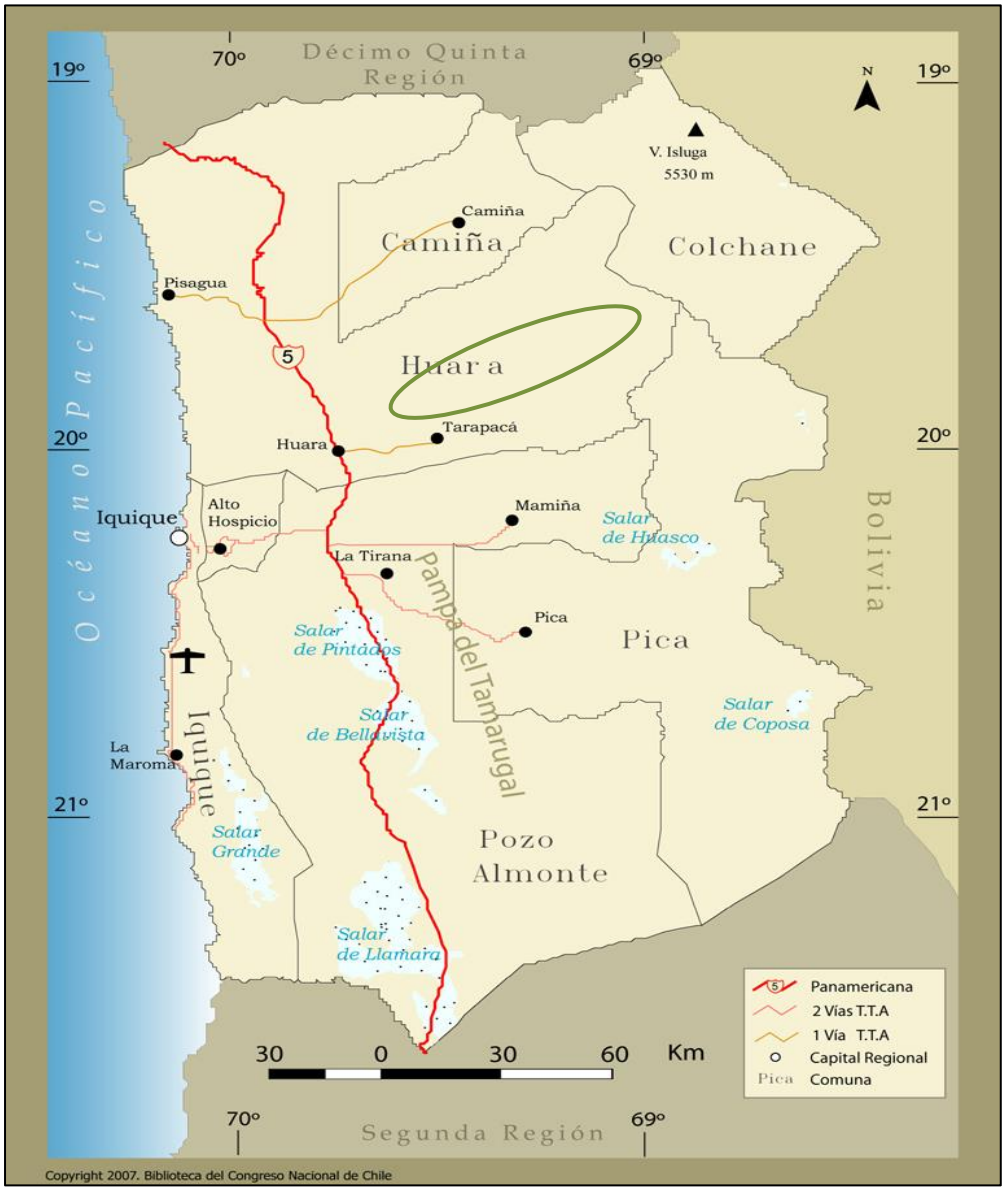

Fuente: Turistel, 2010.

## 2.1.2. Estructura Político – Administrativa

El área de estudio se encuentra inserta en la comuna de Huara, ubicada en el extremo norte de la provincia de El Tamarugal y la región de Tarapacá, rodeando la comuna de Camiña (Figura 3.1.2-1). Al norte limita con la comuna de Camarones, al sur con las comunas de Pozo Almonte, Alto Hospicio e Iquique, al este con la comuna de Colchane y Pica y al oeste con el océano Pacífico. Abarca una superficie de 10.474,6 km² que equivalen al 26,59% del territorio provincial y al 24,81% de la superficie regional.

**FIGURA 2.1.2-1**
**CONTEXTO POLÍTICO-ADMINISTRATIVO COMUNA DE HUARA**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional (2007)

La comuna se creó el 30 de diciembre de 1927 como Huara. En 1970 se le anexa el territorio de la comuna de Negreiros y en 1979 la comuna de Pisagua.

La cabecera comunal es la localidad de Huara, en el cual se encuentra el municipio. El segundo poblado de importancia es Pisagua.

Integra, junto con las comunas de Arica, Putre, y General Lagos, el Distrito Electoral Nº 1 y la 1ª Circunscripción Senatorial.

Integra junto con las comunas de Iquique, Alto Hospicio, Camiña, Colchane, Pica y Pozo Almonte el Distrito Electoral N°2 y pertenece a la 1ª Circunscripción Senatorial.

### 2.1.3. Antecedentes Demográficos

A continuación se presentan distintos aspectos que permiten caracterizar la comuna de Huara, dónde se encuentra el área de estudio, entre ellos: demografía, condición socioeconómica, ocupación, calidad de vida y actividades económicas.

## 2.1.3.1. Demografía

Según los resultados del Censo de Población y Vivienda de 2002, la población de la comuna alcanza los 2.599 habitantes, lo que corresponde al 11,54% de la provincia de El Tamarugal y 1,09% de la región de Tarapacá. La densidad poblacional es 0,2 habitantes/km$^2$.
Cabe destacar, que según el Censo 2002, en la comuna no existe población urbana, lo que contrasta con la realidad regional (Cuadro 3.1.3.1-1).

**CUADRO 2.1.3.1-1**
**POBLACIÓN URBANO – RURAL**

| Tipo de Población | Región de Tarapacá | | Comuna de Huara | |
|---|---|---|---|---|
| | Nº | % | Nº | % |
| **Urbano** | 226.462 | 94,8 | 0 | 0,0 |
| **Rural** | 12.488 | 5,2 | 2.599 | 100,0 |
| **Total** | 238.950 | 100,0 | 2.599 | 100,0 |

Fuente: Censo 2002 (INE)

Por otra parte, los hombres representan el 57,7% del total de habitantes de la comuna, porcentaje que es más alto que a nivel regional (Cuadro 3.1.3.1-2).

**CUADRO 2.1.3.1-2**
**DISTRIBUCIÓN POBLACIÓN SEGÚN SEXO**

| Tipo de Población | Región de Tarapacá | | Comuna de Huara | |
|---|---|---|---|---|
| | Nº | % | Nº | % |
| **Hombres** | 123.072 | 51,5 | 1.499 | 57,7 |
| **Mujeres** | 115.878 | 48,5 | 1.100 | 42,3 |
| **Total** | 238.950 | 100,0 | 2.599 | 100,0 |

Fuente: Censo 2002 (INE)


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Al analizar la población entre el año 2002 y lo proyectado para el año 2012 (INE), es posible apreciar que en la comuna de Huara el mayor número de habitantes por grupo etario se ha mantenido presente en el tramo de 0 a 14 años, seguido de los habitantes entre 15 a 29 años (Cuadro 3.1.3.1-3). Se destaca a su vez que la mayor variación porcentual estimada para cada grupo etario entre el censo 2002 y lo proyectado para el año 2012, está constituido por la población entre 45 y 64 años, con un valor de 44.5%.

**CUADRO 2.1.3.1-3**
**POBLACIÓN POR GRUPO DE EDAD 2002 Y PROYECTADA 2012**

| Edad | 2002 | 2012 | % Según Territorio 2012 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Comuna | Región | País |
| 0 a 14 | 748 | 1.059 | 30,78 | 23,82 | 21,77 |
| 15 a 29 | 575 | 827 | 24,03 | 25,48 | 24,56 |
| 30 a 44 | 525 | 556 | 16,16 | 22,22 | 21,08 |
| 45 a 64 | 454 | 656 | 19,06 | 21,82 | 23,08 |
| 65 y más | 297 | 343 | 9,97 | 6,67 | 9,52 |
| **Total** | **2.599** | **3.441** | **100** | **100,01** | **100,01** |

Fuente: Censo 2002 y Proyección de Población 2012 (INE).

## 2.1.3.2. Evolución de la Población

La comuna de Huara en los últimos 40 años ha mantenido un proceso de emigración, estimándose al año 2000 una población que representaba apenas un 56,6% del total poblacional radicado en la comuna a principios de la década del sesenta.
De acuerdo a PLADECO (2012-2016) esta continua merma se explicaría en parte, por el término de las faenas salitreras y por la fuerte atracción de población que generó el Puerto Libre de Arica durante las décadas 60 y 70 y posteriormente la Zona Franca de Iquique, durante las décadas 80 y 90.
Si bien ha estado presente esta tendencia al despoblamiento, se ha registrado en los últimos años una disminución de esta, estabilizándose la población en alrededor de los 2000 habitantes.
Por lo demás se destaca que "durante los tres últimos años, la capital de la comuna ha visto fuertemente incrementada su población (se estima un incremento aproximado de 122,3%), debido al aumento de la actividad minera no metálica" circundante a la capital comunal, PLADECO (2012-2016).


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## 2.1.3.3. Representación de Grupos Étnicos

Tal como lo muestra el Cuadro 3.1.3.3-1, gran parte de los habitantes de la Comuna de Huara está representada por personas de ascendencia indígena, principalmente Aymara (67,4% del total, según la Encueta CASEN 2009). Esta situación se mantiene dentro del área de estudio, donde mayoritariamente se presentan propietarios de ascendencia indígena de acuerdo a antecedentes aportados por CONADI.

**CUADRO 2.1.3.3-1**
**POBLACIÓN SEGÚN ETNIA DECLARADA**

| Etnia | Cantidad de Personas | | | % según Territorio (2009) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2003 | 2006 | 2009 | Comuna | Región | País |
| Atacameño | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,09 | 0,18 |
| Aymara | 1011 | 1653 | 5201 | 67,4 | 9,4 | 0,57 |
| Mapuche | 38 | 48 | 81 | 1,05 | 2,39 | 5,96 |
| Rapanui | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,36 | 0,03 |
| Otras | 1364 | 1.067 | 2.435 | 31,55 | 87,76 | 93,26 |
| Total | 2.413 | 2.768 | 7.717 | 100 | 100 | 100 |

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

## 2.1.3.4. Pobreza y Desarrollo Humano

La pobreza en Chile se define a partir de una canasta básica de alimentos, cuyo valor se actualiza según la evolución de los precios. Con ese valor se definen la línea de indigencia y la línea de pobreza ($32.067 y $ 64.134, respectivamente para CASEN 2009).
En este contexto, según cifras de la encuesta CASEN, la población pobre disminuyó desde el año 2003 al 2009, igualándose porcentualmente la condición de indigencia con la realidad regional para el año 2009, manteniéndose por debajo de las cifras porcentuales a nivel país. Esta situación resulta concordante con las cifras en incremento de la población sin pobreza entre estos mismos años, registrándose esta condición en un 90% de la población para el año 2009, valor superior al contexto regional y de país. (Cuadro 3.1.3.4-1).

**CUADRO 2.1.3.4-1**
**POBLACIÓN SEGÚN POBREZA**

| Pobreza en las Personas | 2003 | 2006 | 2009 | % Según Territorio (2009) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Comuna | Región | País |
| Pobre Indigente | 295 | 116 | 70 | 2 | 2 | 4 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pobre no Indigente | 460 | 260 | 236 | 7 | 13 | 11 |
| No Pobre | 1.658 | 2.392 | 2.896 | 90 | 84 | 85 |
| Total | 2.413 | 2.768 | 3.202 | 100 | 100 | 100 |

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

Si bien las cifras antes mencionadas pueden resultar alentadoras, en PLADECO (2012-2016), se señala que la mayor parte de las familias (74,22%) en la comuna de Huara presentan una situación socioeconómica de carencias inerciales; vale decir, presentan ingresos sobre la línea de pobreza, pero tienen carencias en una o más de sus necesidades básicas.

En tanto en una segunda posición, y con gran diferencia, se ubican las familias que se encuentran en una situación de pobreza crónica. Estas familias representan el 12,34% del total.

Por otro lado, un 11,72% de las familias se encontrarían en una condición de integración social, y sólo un 1,72% en condición de pobreza reciente. Este último porcentaje constataría que en la comuna existen muy pocas familias bajo la línea de pobreza y que no presentan carencia en la satisfacción de sus necesidades PLADECO (2012-2016).

Esta situación resulta concordante con los antecedentes referidos al ingreso promedio registrado para los habitantes de la comuna, el cual si bien ha ido en incremento entre los años 2003 y 2009 (CASEN, 2009), se mantiene muy por debajo a la situación a escala regional y de país, en donde se registran ingresos promedios sobre el 220% de los registrados en la comuna de Huara (Cuadro 3.1.3.4-2).

**CUADRO 2.1.3.4-2**
**INGRESO PROMEDIO ($)**

| Ingresos Promedio | 2003 | 2006 | 2009 | Región | País |
|---|---|---|---|---|---|
| Ingreso Autónomo | 190.490 | 272.953 | 282.434 | 649.241 | 735.503 |
| Subsidio monetario | 11.283 | 7.108 | 43.624 | 17.673 | 18.792 |
| Ingreso monetario | 201.773 | 280.061 | 326.058 | 666.913 | 754.295 |

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN), Ministerio de Desarrollo Social.

## 2.1.4. Antecedentes Socioeconómicos

Respecto a la situación de empleo, es posible señalar de acuerdo a los resultados de la encuesta CASEN (2009), que el nivel de ocupación ha evidenciado un aumento entre los años 2003 y 2006, pasando de 964 personas en esta situación, a 1.299 respectivamente, disminuyendo posteriormente a 1.048 al año 2009 (Cuadro 3.1.4-1).

**CUADRO 2.1.4-1**
**POBLACIÓN OCUPADA, DESOCUPADA E INACTIVA**
**CASEN 2003-2006-2009**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| Territorio | Ocupados | | | Desocupados | | | Inactivos | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2003 | 2006 | 2009 | 2003 | 2006 | 2009 | 2003 | 2006 | 2009 |
| Comuna de Huara | 964 | 1.299 | 1.048 | 59 | 44 | 96 | 698 | 728 | 1.327 |
| Región de Tarapacá | 163.895 | 99.875 | 116.769 | 19.117 | 10.740 | 7.619 | 134.792 | 92.803 | 102.156 |
| País | 5.994.561 | 6.577.961 | 6.636.881 | 643.977 | 519.357 | 755.252 | 4.995.468 | 5.288.126 | 5.871.272 |

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

En relación a lo anterior, los niveles de desocupación mantienen una tendencia inversa a los niveles de ocupación entre los años 2003 y 2009, presentándose tasas de desocupación inferiores a la realidad país pero superiores a la situación regional para el año 2009 (Cuadro 3.1.4-2).

**CUADRO 2.1.4-2**
**TASAS DE OCUPACIÓN Y DESOCUPACIÓN**
**CASEN 2003-2006-2009**

| Territorio | Ocupados | | | Desocupados | | | Inactivos | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2003 | 2006 | 2009 | 2003 | 2006 | 2009 | 2003 | 2006 | 2009 |
| Comuna de Huara | 56,01 | 62,72 | 42,41 | 5,77 | 3,28 | 8,39 | 59,44 | 64,85 | 46,3 |
| Región de Tarapacá | 51,57 | 49,1 | 51,54 | 10,45 | 9,71 | 6,13 | 57,59 | 54,38 | 54,91 |
| País | 51,53 | 53,11 | 50,04 | 9,7 | 7,32 | 10,22 | 57,06 | 57,3 | 55,73 |

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

Respecto a la importancia de las diferentes ramas de la actividad económica, en el Censo 2002 se constató que la población ocupada en la comuna de Huara se centra principalmente en las actividades asociadas a la agricultura ganadería, caza y silvicultura con un 45,9% de representación en la población ocupada, seguidas por la pesca y luego la explotación de minas y canteras, todas las cuales constituyen el sector primario en la actividad económica de la comuna (Cuadro 3.1.4-3).


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 2.1.4-3
## POBLACIÓN DE 15 AÑOS Y MÁS, ECONÓMICAMENTE ACTIVA, POR RAMA DE ACTIVIDAD ECONÓMICA.

| Sector | Actividad | Población | % |
|---|---|---|---|
| Primario | Agricultura, ganadería, caza y silvicultura. | 389 | 45,9 |
| | Pesca | 72 | 8,5 |
| | Explotación de minas y canteras | 49 | 5,8 |
| Secundario | Industria manufacturera | 19 | 2,2 |
| | Electricidad, gas y agua | 2 | 0,2 |
| | Construcción | 59 | 7 |
| Terciario | Comercio | 54 | 6,4 |
| | Hoteles y restaurantes | 23 | 2,7 |
| | Transportes y comunicaciones | 22 | 2,6 |
| | Intermediación financiera | 0 | 0 |
| | Actividades inmobiliarias | 2 | 0,2 |
| | Administración Pública | 104 | 12,3 |
| | Enseñanza | 36 | 4,2 |
| | Servicios sociales y salud | 5 | 0,6 |
| | Servicios comunitarios | 5 | 0,6 |
| | Servicio doméstico | 6 | 0,7 |
| | Organizaciones extraterritoriales | 0 | 0 |
| | Ignorado | 0 | 0 |
| | Busca trabajo por primera vez | 1 | 0,1 |
| | Total | 848 | 100 |

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes del INE, Censo 1992

En lo que respecta específicamente al sector silvoagropecuario, de acuerdo a los antecedentes aportados por el Censo Agropecuario y Forestal del año 2007, existe una mayor presencia de hombre que desarrollan actividades remuneradas en forma permanente, condición que es posible observar tanto a nivel regional y país (Cuadro 3.1.4-4).

## CUADRO 2.1.4-4
## EMPLEOS PERMANENTES EN SECTOR SILVOAGROPECUARIO AÑO 2007

| Empleo Permanente | Comuna | Región | País |
|---|---|---|---|
| **Hombres** | 51 | 426 | 168.262 |
| **Mujeres** | 13 | 168 | 19.894 |
| **Total** | 64 | 594 | 188.156 |

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

## 2.1.5. Condiciones de Vida de la Población

### 2.1.5.1. Salud

La red de salud comunal está compuesta por 5 postas rurales, dependiendo técnicamente la atención de salud, del Servicio de Salud de Iquique y de la infraestructura de derivación de la misma ciudad. En esta existe un hospital de alta complejidad para atención cerrada, y veinte centros de salud ambulatorios, ver Cuadro 3.1.5.1-1.

La Atención de Especialidades, las Intervenciones Quirúrgicas y las Hospitalizaciones, se otorga en la ciudad de Iquique.

Las postas tienen condiciones regulares de mantención. Sin embargo, en términos de insumos, especialmente de farmacia, las condiciones son relativamente satisfactorias de acuerdo a lo señalado por PLADECO (2012-2016), destacándose los esfuerzos para crear un consejo de desarrollo comunal, así como el plan de capacitación de los funcionarios del nivel primario de atención.

**CUADRO 2.1.5.1-1**
**NÚMERO DE ESTABLECIMIENTOS DE SALUD SEGÚN TIPO, DEIS 2011**

| Número de establecimientos | Comuna | Región | País |
|---|---|---|---|
| Hospitales | 0 | 1 | 194 |
| Centros de salud ambulatorios | 0 | 20 | 982 |
| Postas rurales | 5 | 14 | 1.164 |
| Total | 5 | 35 | 2.340 |

Fuente: Base de establecimientos de salud (Ministerio de Salud, 2011).

El sistema previsional de salud más importante en la comuna es el público, situación compartida a nivel regional y nacional, aunque con un porcentaje de cobertura superior, alcanzando un 97% de los habitantes de la comuna, lo que se entendería según PLADECO (2012-2016), debido a la situación de pobreza e indigencia que se presenta en la comuna. En el Cuadro 3.1.5.1-2 se presenta la Población según sistema de salud en la comuna de Huara.

**CUADRO 2.1.5.1-2**
**POBLACIÓN SEGÚN SISTEMA DE SALUD**

| Sistema Previsional | 2003 | 2006 | 2009 | % según Territorio (2009) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Comuna | Región | País |
| **Público** | 2.008 | 2.368 | 7.520 | 97 | 76 | 79 |
| **Isapre** | 121 | 63 | 73 | 1 | 12 | 13 |
| **Particular** | 284 | 337 | 124 | 2 | 12 | 8 |
| **Total** | 2.413 | 2.768 | 7.717 | 100 | 100 | 100 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

Cabe señalar que, de las personas que cotizan por FONASA, más del 70% se encuentra en los dos primeros grupos (A y B) y el resto en los siguientes (C y D), como se aprecia en el Cuadro 3.1.5.1-3.

**CUADRO 2.1.5.1-3**
**POBLACIÓN EN FONASA SEGÚN NIVEL**
**COMUNA DE HUARA**

| Población según Tramo | Comuna | | Región | |
|---|---|---|---|---|
| | Nº | % | Nº | % |
| Grupo A | 231 | 41.85 | 84.635 | 38,62 |
| Grupo B | 167 | 30.25 | 56.378 | 25,73 |
| Grupo C | 77 | 13.95 | 38.022 | 17,35 |
| Grupo D | 77 | 13.95 | 40.114 | 18,30 |
| Total | 552 | 100 | 219.149 | 100 |

Fuente: Departamento de Estadísticas e Información de Salud
Ministerio de Salud, 2010

## 2.1.5.2. Educación

De acuerdo a los antecedentes aportados en PLADECO (2012-2016), el promedio de escolaridad de la comuna de Huara es de los más bajos de la provincia, tanto para hombres como para mujeres, superando sólo los de Colchane. En tanto, la tasa de analfabetismo es 50 por ciento más alta que el promedio para el país y 4 veces más que la de la región (Cuadro 3.1.5.2-1).

**CUADRO 2.1.5.2-1**
**PROMEDIO DE ESCOLARIDAD Y TASA DE ANALFABETISMO**

| Región de Tarapacá | Promedio de escolaridad (años) | | | Tasa de Analfabetismo |
|---|---|---|---|---|
| Provincia y comuna | Total | Hombre | Mujer | (%) |
| Total país | 9,7 | 9,8 | 9,5 | 4,6 |
| Región de Tarapacá | 10,3 | 10,5 | 10,1 | 1,7 |
| Iquique | 10,8 | 10,9 | 10,7 | 1,2 |
| Huara | 7,5 | 7,7 | 7,2 | 6,1 |
| Camiña | 8 | 8,2 | 7,8 | 6 |
| Colchane | 5,2 | 5,6 | 4,9 | 23,1 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| Región de Tarapacá | Promedio de escolaridad (años) | | | Tasa de Analfabetismo |
|---|---|---|---|---|
| Provincia y comuna | Total | Hombre | Mujer | (%) |
| Pica | 8,7 | 8,7 | 8,7 | 4,1 |
| Pozo Almonte | 9,3 | 9,4 | 9,2 | 3,4 |

Fuente: PLADECO 2012-2016 a partir de Encuesta CASEN 1998.

Respecto de la dependencia de los establecimientos educacionales presentes en la comuna de Huara, se destaca la presencia de 12 establecimientos municipales, sin contar con establecimientos particulares subvencionados, particulares pagados o establecimientos vinculados a una corporación municipal o particular, tal como se aprecia en el Cuadro 3.1.5.2-2.

**CUADRO 2.1.5.2-2**
**ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES POR DEPENDENCIA 2005-2010**

| Establecimientos | Comuna | | Región | | País | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2005 | 2010 | 2005 | 2010 | 2005 | 2010 |
| Corporación Municipal | 0 | 0 | 38 | 37 | 1.215 | 1.166 |
| Municipal | 12 | 12 | 34 | 36 | 4.883 | 4.573 |
| Particular Subvencionado | 1 | 1 | 109 | 144 | 4.630 | 5.681 |
| Particular Pagado | 0 | 0 | 13 | 13 | 763 | 674 |
| Corporación Privada | 0 | 0 | 1 | 1 | 70 | 70 |
| Total | 13 | 13 | 195 | 231 | 11.561 | 12.164 |

Fuente: Elaboración propia en base a Matrículas, Ministerio de Educación (MINEDUC).

Parte importante de la población (33%) se encuentra en un nivel de escolaridad básico incompleto, cifra superior a la realidad regional y nacional, presentándose más del 50% de la población con un nivel de escolaridad que no alcanza a completar la enseñanza media, como se aprecia en el Cuadro 3.1.5.2-3

**CUADRO 2.1.5.2-3**
**NIVEL EDUCACIONAL DE LA POBLACIÓN**
**COMUNA DE HUARA**

| Calidad de la Vivienda | 2003 | 2006 | 2009 | % Según Territorio (2009) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Comuna | Región | País |
| Sin Educación | 160 | 180 | 651 | 11 | 3 | 4 |
| Básica Incompleta | 554 | 711 | 1.962 | 33 | 12 | 14 |
| Básica Completa | 243 | 239 | 918 | 15 | 10 | 11 |
| Media Incompleta | 419 | 524 | 942 | 16 | 20 | 19 |
| Media Completa | 280 | 367 | 932 | 16 | 36 | 30 |
| Superior Incompleta | 24 | 32 | 353 | 6 | 9 | 10 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Superior Completa | 41 | 18 | 178 | 3 | 10 | 12 |
| Total | 1.721 | 2.071 | 5.936 | 100 | 100 | 100 |

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN), Ministerio de Desarrollo Social.

## 2.1.5.3. Vivienda

En general en la comuna se presenta un alto porcentaje de viviendas que han sido pagadas (78%), las que junto al número de viviendas cedidas constituyen aproximadamente un 96% del total, constituyéndose un alto porcentaje en comparación de la realidad nacional que alcanza sólo un 69% según antecedentes de la encuesta CASEN 2009 (Cuadro 3.1.5.3-1).

**CUADRO 2.1.5.3-1**
**TIPO DE TENENCIA DE LA VIVIENDA**

| Tenencia | 2003 | 2006 | 2009 | % Según Territorio (2009) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Comuna | Región | País |
| Vivienda Pagada | 379 | 616 | 880 | 78 | 54 | 55 |
| Viviendas Pagándose | 24 | 17 | 0 | 0 | 7 | 12 |
| Arrendadas | 82 | 44 | 39 | 3 | 23 | 17 |
| Cedidas | 280 | 284 | 201 | 18 | 15 | 14 |
| Usufructo | 5 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ocupación Irregular | 38 | 29 | 11 | 1 | 1 | 1 |
| Total | 808 | 1.010 | 1.131 | 100 | 100 | 100 |

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN, 2009).

Respecto del tipo de viviendas, las casas constituyen la principal infraestructura habitacional en la comuna, representadas por un 98% del total de viviendas, valor superior a la situación regional y de país, caracterizándose tanto a nivel comunal como regional un crecimiento horizontal en términos de asentamientos humanos, careciendo por completo dentro de la comuna la presencia de instalaciones habitacionales de altura importante, como es posible apreciar en el Cuadro 3.1.5.3-2.

**CUADRO 2.1.5.3-2**
**TIPO DE VIVIENDA PREDOMINANTE**

| Tipo de Vivienda | 2003 | 2006 | 2009 | % Según Territorio (2009) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Comuna | Región | País |
| Casa(Individual, en Cité, en Condominio) | 605 | 766 | 1.103 | 98 | 85 | 89 |
| Departamento | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 10 |
| Pieza | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Otro Tipo | 197 | 244 | 28 | 2 | 0 | 1 |
| Total | 808 | 1.010 | 1.131 | 100 | 100 | 100 |

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

Se destaca la presencia de viviendas en condiciones deficitarias, las cuales en gran parte están en una condición recuperable, registrándose tan solo un 24% de las viviendas en una condición aceptable para ser utilizada como morada (Cuadro 2.1.5.3-3).

**CUADRO 2.1.5.3-3**
**CALIDAD DE LA VIVIENDA**

| Calidad de la Vivienda | 2003 | 2006 | 2009 | % Según Territorio (2009) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Comuna | Región | País |
| Aceptable | 121 | 88 | 270 | 24 | 73 | 81 |
| Recuperable | 420 | 493 | 760 | 67 | 25 | 18 |
| Irrecuperable | 267 | 419 | 101 | 9 | 2 | 1 |
| Total | 808 | 1.000 | 1.131 | 100 | 100 | 100 |

Fuente: Encuesta CASEN 2006

## 2.1.5.4. Servicios Básicos

- **Agua, saneamiento y energía eléctrica**

De acuerdo a los antecedentes aportados por PLADECO (2012-2016), el acceso a agua potable en la comuna resulta poco satisfactorio. Según los datos proporcionados por la encuesta CASEN (1998) el 48,6% de los hogares tenían abastecimiento con medidor propio o compartido, 14,7% se abastecían de red pública sin medidor, 0,9 % de pozo o noria y 35,9% de río o estero.

De igual forma la eliminación de excretas resulta deficitaria: sólo el 35,4% de los hogares está conectado a alcantarillado o fosa séptica y el 27,4% no dispone de ningún sistema.

En cuanto a la disponibilidad de energía eléctrica, esta se ha registrado con mayor accesibilidad, constatándose que el 43,9% de los hogares mantenían medidor propio, y el 47,2% obtenía la energía por generador. Esta situación implica que el 90% de las familias tiene acceso a energía eléctrica, fundamental para la conservación de una red de frío (PLADECO 2012-2016).

- **Accesibilidad**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La red vial regional y en especial de la comuna de Huara está en función básicamente de la Ruta 5 (Panamericana) que atraviesa la comuna de Norte a Sur, pasa por la Depresión Intermedia y actúa como eje vertebral a partir de la cual se generan las comunicaciones regionales. La prolongación de dicha ruta une a la I Región con el Perú y la II Región.

La mayor parte de la red vial secundaria se localiza en forma perpendicular a la Ruta 5, permitiendo el acceso al interior de la comuna de Huara.

Se destaca las siguientes rutas de acceso:

Red vial asfaltada

- La Ruta 5 y A-40 que conecta con Pisagua.
- La Ruta 5 y A-55 que conecta Huara con Colchane (asfaltado hasta altura de Chusmiza).
- La Ruta 5 y la A- 45 que conecta con la comuna de Camiña, cerca de la altura con el camino que baja a Pisagua.

Red vial de tierra.

- La Ruta 5 y A375 que conecta con la quebrada de Miñi-Miñe y sus caseríos
- La Ruta 5 y A455 que conecta con la quebrada Soga y sus localidades
- La Ruta 5 y A 457 que conecta con la quebrada de Soga por Ariquilda
- La Ruta 5 y A 475 que conecta los altos de Chusmiza con la quebrada de Chiapa
- La Ruta 5 y A 575 que conecta con la quebrada de Tarapacá en su sector Bajo
- La Ruta 5 y A 535 que conecta con la quebrada de Coscaya con la quebrada baja de Tarapacá.
- La Ruta 5 y A 536 que conecta con la localidad de Pachica con el camino hacia Cultane y localidades altiplánicas de Lirima y Cancosa ubicadas en la comuna de Pica.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

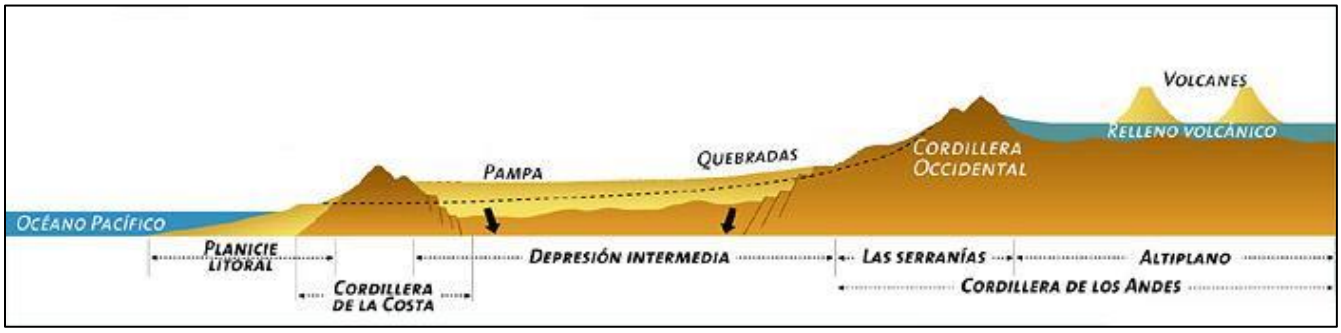
- La Ruta 5 y A 456 camino de tierra que sale de Huara en dirección al Norte en paralelo a la ruta 5 y que sigue el camino de la ex salitrera de la comuna.

## 2.1.6. Características Físicas

## 2.1.6.1. Geomorfología

El relieve de la comuna se relaciona con el que predomina en esta zona del país, con una Cordillera de la Costa muy cercana a las planicies litorales, luego un sector de pampas que en forma paulatina da paso a las sierras, la precordillera y Cordillera de los Andes, dejando en la vertiente oriental el altiplano. La Figura 3.1.6.1-1 muestra las principales formación que se pueden encontrar en la zona.

**FIGURA 2.1.6.1-1**
**PERFIL DEL RELIEVE COMUNAL DE HUARA**




Fuente: Turistel (2003)

En lo que sigue se describen los diferentes elementos mostrados en la Figura anteriormente presentada:

- **Planicies Litorales:** Originada por la erosión en los faldeos orientales de los cerros de la costa, las trasgresiones y regresiones marinas y la depositación de material sedimentario en las desembocaduras de los ríos, esta es angosta desde Iquique al Sur, por donde corre un camino costero que une ésta última con Antofagasta y por el norte es inexistente desde Iquique hasta la ciudad de Arica, donde los cerros caen directamente al mar, solo formándose planicies costeras en la desembocadura del río Camiña (quebrada de Tana) y otras menores, gracias a la depositación de material sedimentario.
- **Cordillera de la Costa:** Macizo rocoso que nace a 20 km. al sur de la ciudad de Arica en el cerro Camaraca. Se presenta durante su trayecto entre Arica e Iquique como un cordón cordillerano que cae abruptamente hacia el mar en forma de acantilado y hacia

el oriente en forma suave. Posee alturas que llegan a los 2.000 m.s.n.m. e impide que penetren las masas húmedas que provienen del mar.

- **Llano Central, Depresión Intermedia o Pampitas:** Se desarrolla entre cordilleras de la Costa y Los Andes. Con una altura de 1.000 m.s.n.m. en promedio y suave pendiente de este a oeste, fue originada por hundimientos de la corteza y rellenada por erosión desde los Andes hasta formar la Pampa de Tamarugal. Este sector presenta características hostiles para el desarrollo de la vida humana debido a las condiciones desérticas originadas por el biombo climático que generan las cordilleras de la Costa y de los Andes y las influencias de la corriente fría de Humboldt que hace descender las masas cargadas de humedad haciéndolas precipitar en el Océano.
- **Sierra y quebradas:** Corresponde al faldeo que se desprende de la Cordillera de los Andes, surcado por múltiples y profundas quebradas, algunas con vertientes propias. En este sector se han desarrollado pequeños caseríos de origen prehispánico con cultivos en terrazas que abastecen de productos agrícolas a la ciudad. Sector donde se produce una fuerte oscilación térmica que genera un paisaje muy erosionado por la fragmentación de la corteza terrestre.
- **Precordillera:** Sector geográfico anterior a la Cordillera de los Andes, límite natural de las lluvias altiplánicas de verano. En la precordillera se encuentran ubicados los principales pueblos andinos que se vieron fortalecidos por el desarrollo agrícola y por su ubicación estratégica durante el período colonial debido al constante ir y venir de las comunidades indígenas entre la costa y el altiplano.
- **Cordillera de los Andes:** Macizo cordillerano que se extiende desde Venezuela hasta el territorio antártico. Presenta sus mayores alturas en el sector norte de nuestro país. Debido a su altitud, es un farellón cordillerano que impide que las masas de aire húmedo proveniente de la selva del oriente, puedan penetrar hacia nuestros sectores, contribuyendo a generar un paisaje desértico en nuestra zona.
- **Altiplano:** Como lo dice su nombre, es una planicie que se encuentra ubicada sobre los 4.000 m.s.n.m. en ella sobresalen altísimos y aislados volcanes. Su origen se debe al relleno del suelo producto de la actividad volcánica, generando pampas de altura con ríos y bofedales, dando forma al Altiplano Chileno-Peruano-Boliviano.

### 2.1.6.2. Clima y Meteorología

La comuna de Huara de acuerdo a su emplazamiento tendría dos tipos de climas:

- **Clima desértico con nublado abundante**

Se localiza en toda la franja costera que va desde la línea de la Concordia hasta el río Loa. Su ancho es variable, pero en general éste oscila entre la línea de costa hasta una cota aproximada entre los 800 y 900 metros.

Este sector se caracteriza por una ausencia casi total de precipitaciones, escasa oscilación térmica diaria, nubosidad abundante, alta humedad relativa y un fenómeno muy característico: la camanchaca.
Las temperaturas son relativamente bajas y homogéneas, sin grandes alteraciones, la temperatura media anual de la región costera es de 18°. Las temperaturas extremas en verano no superan los 30° y las temperaturas mínimas en invierno, nunca bajan de los 12°.

- **Clima desértico normal**

Se localiza fundamentalmente sobre la cordillera de la costa, la Depresión Intermedia y gran parte de la Precordillera Andina, es decir entre la cota de 800 metros hasta los 2.800 metros. Este sector es el que presenta las características más rigurosas del desierto; sin embargo, por su altitud por encima de los 1.000 metros no podría ser considerado como un desierto cálido.
Se advierte una gran limpieza de la atmósfera, una baja humedad relativa, una fuerte oscilación térmica diaria de la temperatura y una escasez de precipitaciones. Durante el día las temperaturas suben hasta los 30° y en la noche bajan a 0°.
El fuerte recalentamiento diurno engendra centros localizados de baja presión, lo que origina ciertos ventarrones ocasionales arremolinados que arrastran grandes cantidades de polvo en la Pampa del Tamarugal.
A pesar de que las grandes oscilaciones térmicas diarias, la gran sequedad de la atmósfera, la carencia casi absoluta de un manto vegetacional y la escasez de recursos hídricos locales, plantean limitantes al asentamiento humano en la comuna. En este clima, la luminosidad y las temperaturas predominantes pueden ser aprovechadas si van acompañadas de disponibilidad de agua. Esto ocurre en las áreas donde los escurrimientos de napas freáticas permite el desarrollo de tamarugos y algarrobos o donde la existencia de microclimas originados en condiciones especiales de relieve o la existencia de cursos superficiales de agua han configurado valles (Tarapacá, Miñi-Miñe, Aroma, otros.)

## *2.2. Cartacterización hidrológica*

### 2.2.1. Hidrografía y Recursos Hídricos

La Cuenca Quebrada de Aroma mantiene una superficie de aproximadamente 580 $Km^2$. La quebrada nace a los pies de los cerros Guaina de Potosi (4.730 m.s.n.m.), Sepulcro (5.000 m.s.n.m.) y Sojallo (4.000 m.s.n.m.). Los principales afluentes del río Aroma corresponden a Puchultisa y el Macurquima, condición que determina que en la quebrada se presente un escurrimiento permanente según lo señalado en IRH (1983), evidenciándose temporalmente en tiempos de sequía la falta de agua superficial de la quebrada desde el sector de Aroma, según lo indicado por informantes claves en la recopilación de antecedentes en terreno.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Si bien no existen estaciones de control fluviométricas, se mantienen antecedentes que permiten establecer características del régimen hidrológico, de esta forma es posible señalar gracias a los aforos aislados que se han registrado en Pailca, que en el periodo de verano se presenta un escurrimiento de un 44% del volumen anual, en invierno un 36% y en primavera un 20%, con un escurrimiento medio anual de 400 l/s (estimado a partir de 15 aforos) (IRN, 1983).
La Quebrada de Aroma mantiene un régimen principalmente pluvial, con escasos sectores que mantienen nieve permanente y pocos sectores con superficies planas en la cuenca superior que favorezcan la infiltración de las lluvias.
Se destaca además la presencia de eventuales aluviones producto de lluvias de cierta intensidad, los cuales suelen alcanzar el camino de Huara a Tarapacá, distanciado a 30 km aproximadamente de la desembocadura (IRH, 1983). Los aluviones provocan descargas muy rápidas de las aguas lluvias que provocan flujos densos de agua que se desplazan de 45 a 120 km/hr, cuyos escurrimientos tienen un rango de los 50 a 250 $m^3/s$ (PLADECO, 2012-2016).
Se utilizó la descripción hidrográfica del estudio realizado por IRH[1], en la cual se menciona el lugar de nacimiento de la quebrada de Aroma y sus principales afluentes.
Como antecedente relevante, y que se utilizará para comparar los resultados que se obtengan en el presente estudio, esta la estimación del caudal medio de la cuenca por parte de los estudios de IRH y de ProCivil[2]. En ambos casos se determinó un caudal igual a 0,4 $m^3/s$. En el primer estudio el caudal se obtuvo a partir de 15 aforos aislados registrados en el sector de Pailca, mientras que en segundo se uso el método de trasposición de caudales, mediante la estación DGA Tarapacá en Sibaya, ubicada en la cuenca vecina.
Por otra parte está el estudio del Embalse Umiña - Camiña[3], en el cual se realizó un análisis acabo de los caudales en la cuenca vecina de la Quebrada de Aroma, y por tanto los resultados y estimaciones debieran estar más acordes a la realidad.
El estudio de SIGA sobre el Diagnóstico Manejo de Cauce Quebrada de Tarapacá, entrega información relevante de carácter hidrometeorológico que puede servir para validar y calcular la precipitación y caudales en la quebrada de Aroma.

### 2.2.2. Estadística Banco Nacional de Aguas (BNA)

Se recopiló la estadística hidrometeorológica disponible en el Banco Nacionales de Aguas, de las estaciones presentes dentro del sector de estudio y aledañas a este, que podrían aportar en la estimación de los caudales presentes en la quebrada.
En el Cuadro 3.2.2-1 se presenta el listado de estaciones a las cuales se le solicitó información. Se marca con un "X" los registros recibidos por la DGA. Cabe indicar que la mayoría de los

[1] Evaluación de los Recursos de Aguas Superficiales de la Provincia de Iquique, IRH, 1983

[2] Embalse Pintanane", PROCIVIL INGENIERIA LTDA – CNR, 2008

[3] Estudio de Factibilidad Construcción Embalse Umiña-Camiña, Región de Tarapacá, DOH-Arrau Ingeniería E.I.R.L., 2010


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

registros son por periodos muy cortos y probablemente no sea posible utilizarlos, la elección de las estaciones que se utilizarán es parte del estudio hidrológico de la presente consultoría.

**CUADRO 2.2.2-1**
**INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA**

| COD. BNA | Nombre de Estaciones a las cuales se les solicito información | Información Entregada | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Pp Mensual | Ppmax Anual 24 48 y 72 | Qmedios mensuales | Qmedios Diarios Max. |
| 01030003-7 | CHILCAYA | X | X | | |
| 01410011-3 | CHACA | X | X | | |
| 01410012-1 | CODPA | X | X | | |
| 01501001-0 | CARITAYA EMBALSE | X | X | | |
| 01502006-7 | CUYA | X | X | | |
| 01502007-5 | ESQUIÑA | X | X | | |
| 01502008-3 | RIO CAMARONES EN CHILPE | X | X | | |
| 01041003-7 | COLCHANE (Tte. Isluga) | X | X | | |
| 01041004-5 | ENQUELCA (EX CARAGUANO) | X | X | | |
| 01042001-6 | CANCOSA | X | X | | |
| 01042002-4 | HUAYTANI | X | X | | |
| 01050007-9 | COYACAGUA | X | X | | |
| 01051003-1 | SALAR HUASCO | | X | | |
| 01610003-K | PUMIRE | X | X | | |
| 01611001-9 | CAMIÑA | X | X | | |
| 1610004-8 | Q. CAMIÑA 3 KM. A. ARRIBA DE TARCAVIRE | X | X | | |
| 01611002-7 | APAMILCA (CAMIÑA) | X | X | | |
| 01700010-1 | HUARA EN FUERTE BAQUEDANO | X | X | | |
| 01720004-6 | PUCHULTIZA | X | X | | |
| 01730015-6 | PAMPA LIRIMA - DCP | X | X | | |
| 01730016-4 | PAMPA LIRIMA | X | X | | |
| 01730017-2 | POROMA | X | X | | |
| 01730018-0 | LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA) | X | X | | |
| 01730019-9 | MOCHA | X | X | | |
| 01730020-2 | CHUZMISA | X | X | | |
| 01730007-5 | QDA. TARAPACA EN SIBAYA | X | X | | |
| 01740001-0 | PARCA | X | X | | |
| 01740002-9 | CERRO COLORADO | X | X | | |
| 01750002-3 | SAGASCA | X | X | | |
| 01750003-1 | MAMIÑA | X | X | | |
| 01820001-5 | IQUIQUE | X | X | | |
| 01041001-0 | RIO CARIQUIMA EN CARIQUIMA | | | | |
| 01041002-9 | RIO ISLUGA EN BOCATOMA | | | | |
| 01044001-7 | RIO CANCOSA EN EL TAMBO | | | | |
| 01050001-K | QUEBRADA PIGA EN OJOS DE AGUA | | | | |
| 01050002-8 | RIO PIGA EN COLLACAGUA | | | | |
| 01050003-6 | RIO BATEA EN CONFLUENCIA | | | | |
| 01050004-4 | RIO COLLACAGUA EN PEÑABLANCA | | | X | X |
| 01051001-5 | VERTIENTE EL ERMITAÑO EN LAG.HUASCO | | | X | X |
| 01051002-3 | VERTIENTE HUASCO NORTE LAG.HUASCO | | | | |
| 01410001-6 | RIO UMIRPA EN UMIRPA | | | | |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 2.2.2-1**
**INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA**

| COD. BNA | Nombre de Estaciones a las cuales se les solicito información | Información Entregada | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Pp Mensual | Ppmax Anual 24 48 y 72 | Qmedios mensuales | Qmedios Diarios Max. |
| 01410002-4 | RIO CODPA EN CHITITA | | | | |
| 01410003-2 | RIO CODPA EN PUEBLO | | | | |
| 01410004-0 | RIO CODPA EN CALA-CALA | | | X | X |
| 01410005-9 | RIO CODPA EN OFRAGIA | | | X | X |
| 01410006-7 | RIO CODPA EN PALCA | | | X | X |
| 01502001-6 | RIO CAMARONES EN TALTAPE | | | | |
| 01502002-4 | RIO CAMARONES EN CONANOXA | | | X | X |
| 01502008-3 | RIO CAMARONES EN CHILPE | | | X | X |
| 01610001-3 | QUEBRADA CAMIÑA EN UMIGNA | | | X | X |
| 01610002-1 | QUEBRADA CAMIÑA EN ALTUSA | | | X | X |
| 01610004-8 | Q. CAMIÑA 3 KM. A. ARRIBA DE TARCAVIRE | | | X | X |
| 01710001-7 | QUEBRADA CAMIGNA EN PACAGUA | | | X | X |
| 01720001-1 | RIO AROMA EN ALAGNUSCA | | | X | X |
| 01730001-6 | RIO COSCAYA EN PAMPA LIRIMA | | | X | X |
| 01730002-4 | RIO TARAPACA EN MINA SAN JUAN | | | X | X |
| 01730003-2 | RIO COSCAYA EN SAITOCO | | | X | X |
| 01730004-0 | QUEBRADA TARAPACA EN MULLI-MULLI | | | X | X |
| 01730005-9 | QUEBRADA TARAPACA EN PACHICA | | | X | X |
| 01730006-7 | QUEBRADA TARAPACA EN MOCHA | | | X | X |
| 01730007-5 | Q. TARAPACA EN SIBAYA | | | X | X |
| 01730008-3 | QUEBRADA TARAPACA EN PUCHURCA | | | X | X |
| 01730009-1 | QUEBRADA AROMA EN PALCA | | | X | X |
| 01730012-1 | Q. TARAPACA EN LAONSANA | | | X | X |

Fuente: Elaboración Propia

## *2.3. Caracterizacion geológica-geotécnica*

Realizada la revisión de los estudios, se seleccionaron aquellos que presentan antecedentes relacionados con la geología y morfología del sector de Pintanane. Los estudios seleccionados fueron los realizados por Sernageomin[4] Naranjo S et al[5] y por DGA-Schultz[6].
Del estudio realizado por el Sernageomin se presenta el mapa geológico de escala 1:1.000.000 del sector de Pintanane tal como se ve en la Figura 3.3-1, la leyenda esquemática que acompaña al mapa, menciona solo aquellas unidades locales más representativas y

[4] Mapa Geológico de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, 2003

[5] Evolución Cenozoica del piedemonte andino en la pampa del Tamarugal, norte de Chile, 18º-21º S.in Congreso Geológico Chileno, 4º, Antofagasta, 19-24 Agosto 1985. Naranjo S., Jose A.; Paskoff, Roland

[6] Mapa Geológico de Tarapacá, DGA-Schultz, 1972


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

conocidas, lo que facilita su entendimiento. Se pueden apreciar las secuencias sedimentarias PPl1r y M1c y la secuencia volcánica OM3t en el sector donde se ubicaría el embalse. En el Cuadro 3.3-1 se describen las unidades anteriormente mencionadas.

**CUADRO 2.3-1**
**SECUENCIAS GEOLÓGICAS**

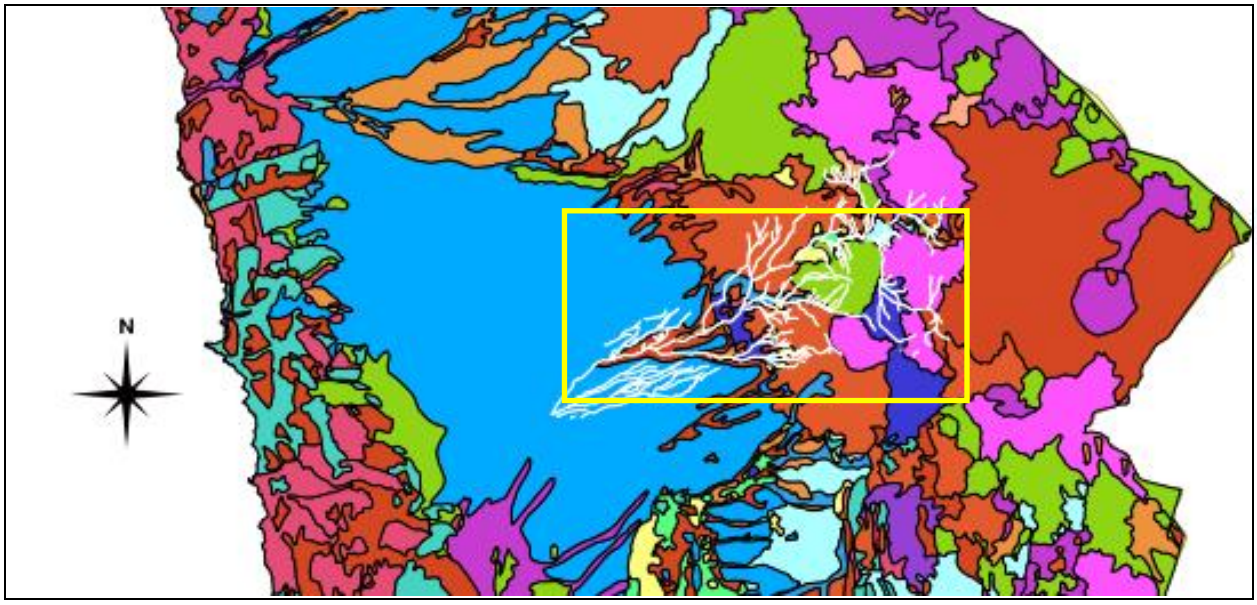
| Secuencia Geológica | Tipo | Descripción |
|---|---|---|
| Plioceno-Pleistoceno (PPl1r) | Sedimentaria | Depósitos de remoción en masa: brechas polimícticas con matriz de arena/limo en proporción variable, de flujo o deslizamiento gravitacional.. En la Cordillera Principal: Flujos de detritos de la quebradas Lluta y Camarones (región XV); avalancha de detritos de Colón-Coya (región VI). |
| Mioceno-Medio (M1c) | Sedimentaria | Secuencias Sedimentaria de abanicos aluviales, pedimento o fluviales: gravas, arenas y limos con ignimbritas intercaladas. En las regiones XV, I, II y III: formaciones Diablo, Chucal, Alto de Pica (superior) y Gravas de Atacama; en las regiones VIII a IX: Formación Cura-Mallín (superior); en la región XI: Formación Las Dunas |
| Oligoceno-Mioceno (OM3t) | Volcánica | Secuencias piroplásticas dacíticas a riolíticas asociadas a calderas de colapso. En la Cordillera Principal, regiones XV a III: Formación Oxaya, ignimbritas Río Frío y Los Terneros. |

Fuente: Elaboración Propia a partir de Mapa Geológico Sernageomin.

**FIGURA 2.3-1**
**ESTRACTO MAPA GEOLÓGICO DE CHILE**

**Chile entre los Paralelos 20º y 19º Sur**

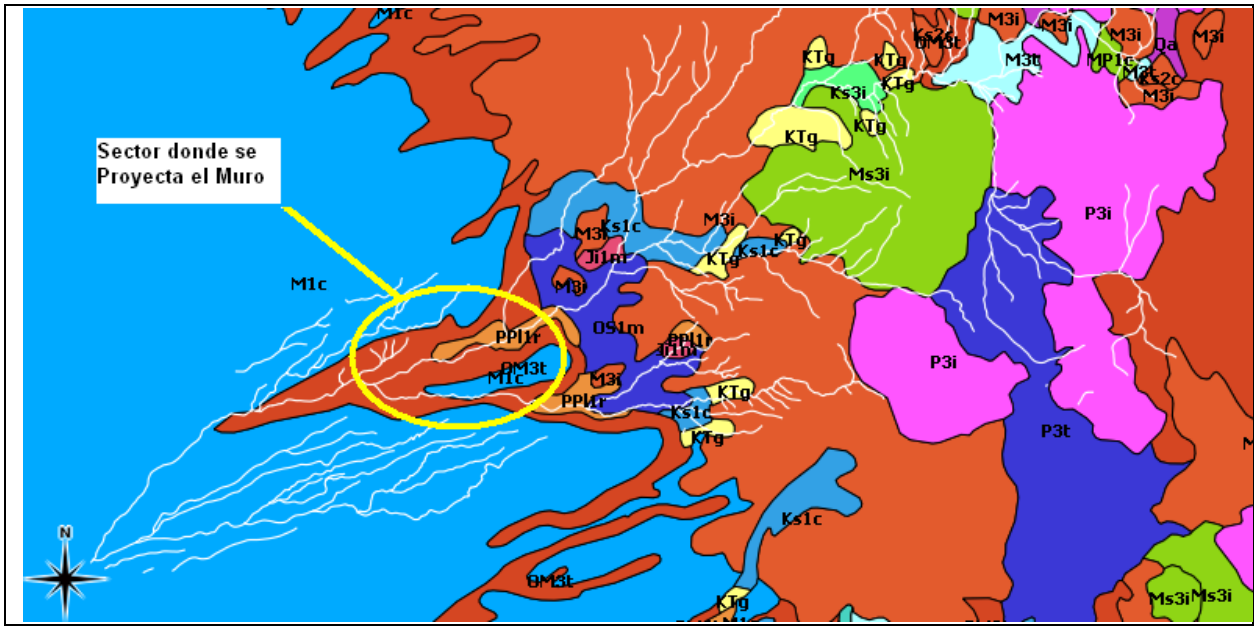
## FIGURA 2.3-1
## ESTRACTO MAPA GEOLÓGICO DE CHILE




**Acercamiento a Sector de Pintanane**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 2.3-1**
**ESTRACTO MAPA GEOLÓGICO DE CHILE**



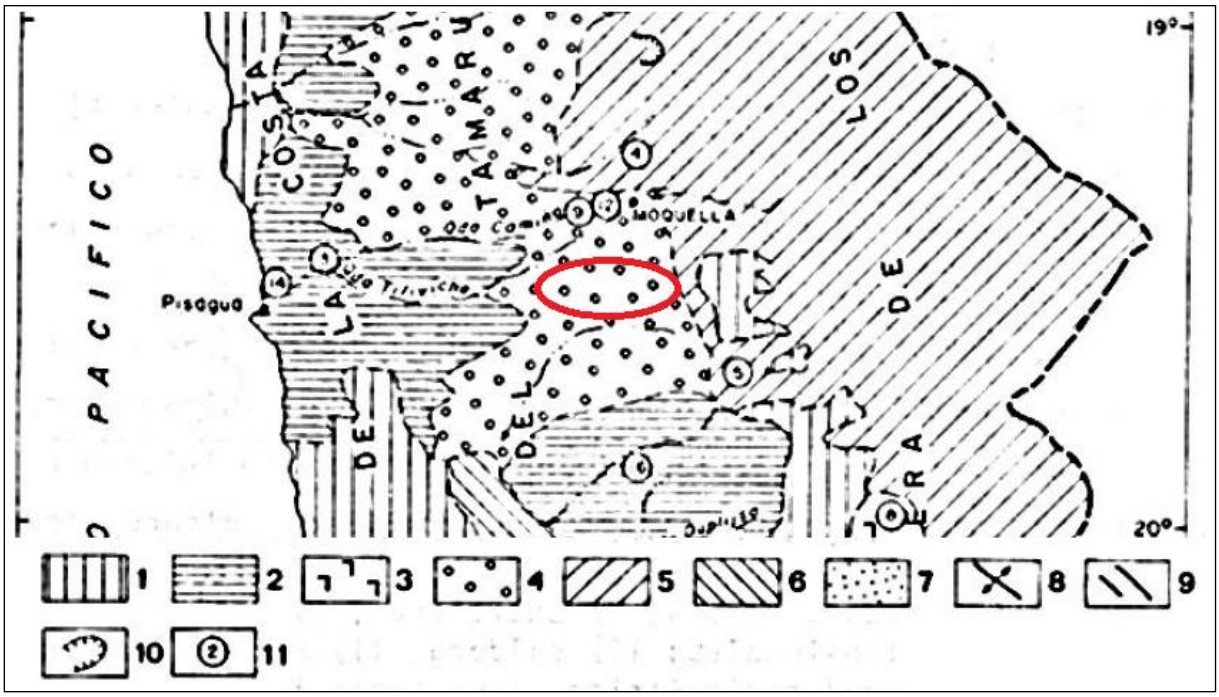

Fuente: Elaboración Propia a partir de Mapa Geológico Sernageomin

Del estudio de Naranjo et al, se tiene como antecedente el mapa geológico esquemático de los principales constituyentes de piedemonte andino al norte del paralelo 21° sur. En la Figura 3.3-2 se presenta parte del mapa (entre los paralelos 20° y 19° sur) y se encierra el sector donde se emplazaría el muro de Pintanane.

La formación geológica correspondiente al sector de Pintanane catalogada en la Figura 3.3-2 con el número 4 es Piedemonte Andino, constituido por depósitos de glaciplanación correlativos al volcanismo andasítico (Formación El Diablo Mioceno Medio a Plioceno).


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

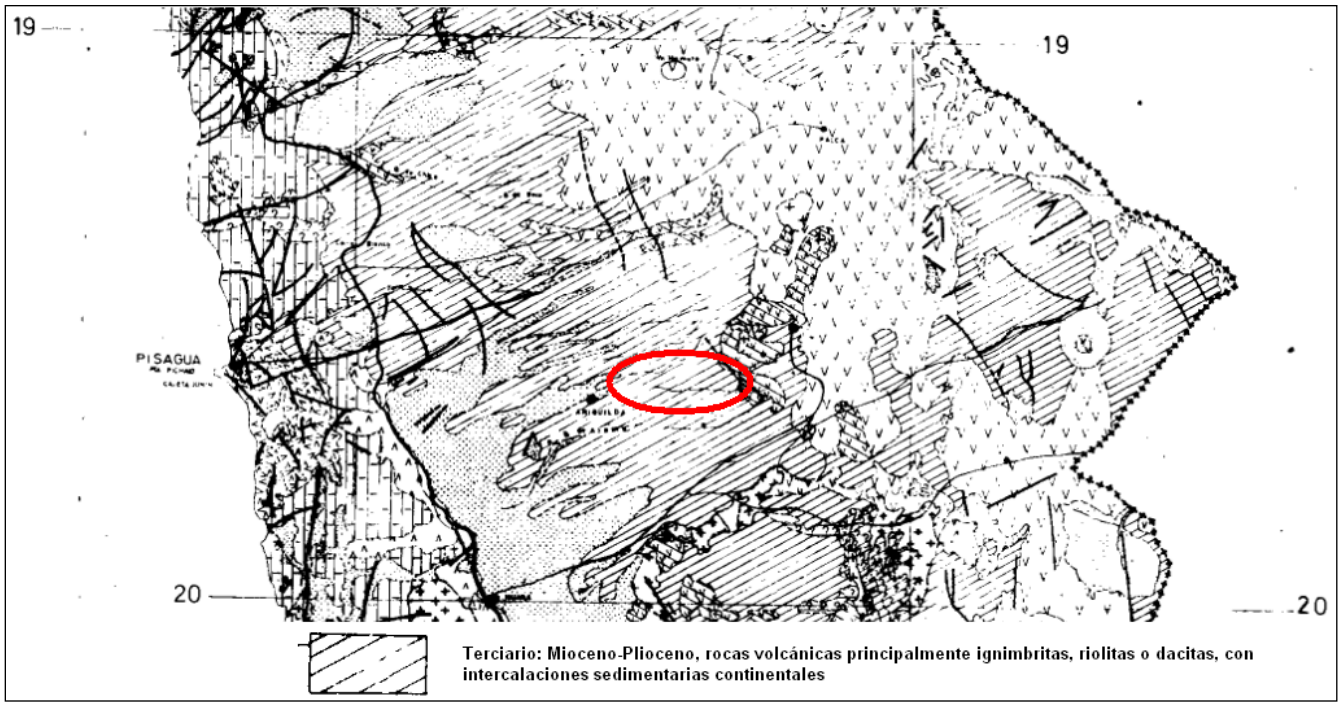
**FIGURA 2.3-2**
**MAPA GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO**




Fuente: Naranjo S. et al

Finalmente en el estudio realizado por DGA-Schultz, se señala que el sector de Pintanane esta caracterizado por una geología que data de la era terciaria o Cenozoica, entre el Mioceno y el Plioceno, constituido por rocas volcánicas principalmente ignimbritas, riolitas o dacitas, con intercalaciones sedimentarias continentales, tal como se indica en la Figura 3.3-3.
Cabe destacar que los estudios coinciden en la datación de las unidades geológicas y en la de su constitución volcano-sedimentaria.

**FIGURA 2.3-3**
**MAPA GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO**




Fuente: DGA-Schultz

## *2.4. Caracterización Agropecuaria*

### 2.4.1. Agroclimas

En la Región se identifican 4 tipos generales de climas (clasificación Papadakis, 1973), que agrupan un total de 7 agroclimas. Con excepción del agroclima Arica, todas las agrupaciones restantes se ubican en forma de franjas que recorren la región en sentido Norte-Sur, siendo el cambio altitudinal el que determina las principales zonificaciones espaciales entre uno y otro agroclima. En este espacio, la presencia de un variado conjunto de unidades orográficas permite la formación de microclimas, que pueden tener mayores o menores aptitudes para el desarrollo agrícola.
En este sentido la comuna de Huara con su extensión, presenta cuatro agroclimas que van de Este a Oeste y los principales parámetros se resumen en el Cuadro 3.4.1-1.

- **Agroclima Putre:** Se ubica al occidente del agroclima alto andino. Abarca las comunas de Putre, los pisos precordilleranos de las comunas de Camiña, Camarones, Huara,

Pozo Almonte y Pica. Es posible el desarrollo de cultivos de alfalfa, maíz y hortalizas de bulbo.

- **Agroclima Potrerillos:** En la región de Tarapacá comprende las comunas de Arica, Camarones, Camiña, Huara, Pica y Pozo Almonte. La zonificación agrícola incluye avena, trigo, cebada y alfalfa.

- **Agroclima Refresco:** Situado al Oeste del agroclima Potrerillos. En la región de Tarapacá comprende las comunas de Arica, Camarones, Camiña, Huara, Pica y Pozo Almonte. Con riego es apta para, maíz, cebada, alfalfa, tomates, cucurbitáceas, ají, pimentón, coliflor, etc., además de frutales como cítricos.

- **Agroclima Copiapó:** Este agroclima se ubica en los valles interiores. En la Región de Tarapacá comprende las comunas de Arica, Camarones, Huara, Camiña e Iquique. De acuerdo a las condiciones hídricas no es posible cultivar sin riego, con lo que la zona es potencial para el cultivo de frutales, así como tomates, ají, zapallos, leguminosas, maíz, pimentón, etc.

**CUADRO 3.4.1-1**
**AGROCLIMAS DE LA COMUNA DE HUARA**

| Parámetro | Putre | Potrerillos | Refresco | Copiapó |
|---|---|---|---|---|
| Mínima media mes más frío | -2,9 ° C | 4,9° C | 5,5° C | 6,5°C |
| Máxima media mes más frío | 0° a 5° C | 17° C | 23,5 ° C | 19,9°C |
| Máxima media mes más cálido | 10 ° C | 18,4° C | 11,7° C | 15,7° C |
| Máxima media mes más cálido | 10° C | 18,4° C | 28,4° C | 30,1° C |
| Temperatura media anual | ND | 11,0° C | 17,7° C | 18,0° C |
| Período libre de heladas | 1 mes | 2,5 a 4,5 meses | ND | ND |
| Precipitación media | 256,6 mm | 44,1 mm | 12 mm | 22 mm |

Fuente: INIA, 1989 ND: Valor no disponible

## 2.4.2. Capacidad de Uso de Suelo

En el área de estudio, específicamente la quebrada de Aroma no existe información ni estudios de suelos, ya sea desde el punto de vista agronómico o de ordenamiento territorial. No obstante lo anterior, se puede decir que la Región en general y la comuna de Huara son esencialmente áridas. Por lo tanto, el suelo sólo puede analizarse como parte integrante de un ecosistema árido. La no existencia de condiciones climáticas que posibiliten una actividad orgánica adecuada, retarda o anula procesos de transformación química, física y biológica. El espectro general de los suelos regionales está caracterizado por estratos delgados, sin desarrollo y de escasa fertilidad natural.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La clasificación de los suelos de acuerdo a la geomorfología de la comuna de Huara, abarca tres grandes zonas:

**a) Cordillera de la Costa**

La cordillera de la costa está formada litológicamente por rocas sedimentarias marinas del jurásico, con algunas intrusiones de rocas graníticas que varían entre granitos, granodioritas y gabros. Corresponde a la zona cuya cota superior no sobrepasa los 1.000 m.s.n.m. siendo los rasgos más característicos del paisaje los acantilados, los valles que llegan al mar y una franja litoral constituida por terrazas marinas de escasa magnitud y desarrollo.
En esta zona, el continente cae abruptamente al mar, formando acantilados de varios cientos de metros de altura. La base del acantilado está formada por una continua sucesión de coluvios y, entre éstos y el mar sólo hay angostas playas generalmente pedregosas.
Los escasos valles que llegan al mar, no salen de su etapa juvenil en lo que se refiere a sus dimensiones, es decir, son angostos, de paredes abruptas y en forma de V, por el cual corre un pequeño caudal. La formación de terrazas marinas está restringida a las cercanías de los cauces que llegan al mar (Quebrada de Tiliviche).
Los materiales del suelo son de preferencia limos, arenas y gravas de origen marino, mezclados con materiales más reciente de las quebradas que allí confluyen

**b) Depresión Intermedia**

Esta depresión intermedia se extiende entre el borde oriental de la Cordillera de la Costa y el borde occidental de la Cordillera de los Andes.
Se ubica entre las cotas 1.000 y 2.800 m.s.n.m. aproximadamente. Corresponde básicamente a un graben constituido por mantos de rocas volcánicas terciarias (ignimbritas, riolitas, etc.), las cuales están subyaciendo a importantes depósitos de sedimentos terciarios y cuaternarios.
Las características principales de esta zona son las grandes extensiones con una pendiente muy uniforme y la presencia de grandes salares. Estas planicies han sido fuertemente erosionadas y disectadas por fenómenos principalmente fluviales, cuya mayor intensidad parece haber ocurrido a comienzos del cuaternario. Estos fenómenos dejaron como consecuencia un paisaje de lomas y planos remanentes (llamados pampas), separadas entre sí por quebradas de tamaño diverso (Suca, Tana, Tiliviche, Tarapacá, otras). Estas quebradas poseen una dirección dominante E-O. Algunas de las quebradas llevan cursos de agua los que generalmente se transforman en aguas subterráneas antes de llegar al mar.
Los valles que bajan desde la región andina son más anchos en esta zona pero mantienen las paredes de pendientes abruptas y una forma de V.
El lavado de los materiales ricos en sales en la alta cordillera junto a la elevada evaporación que existe en la zona, además de la existencia de cuencas cerradas puede ser la explicación de la existencia de salares.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Al sur de la Quebrada de Tiliviche los sedimentos son de origen volcánico terciarios, que fueron generados en un recorrido E-O por la barrera montañosa de la Cordillera de la Costa. Esta misma barrera impidió una disección mayor en las planicies, permaneciendo como una gran cuenca sedimentaria, conocida como la "Pampa del Tamarugal". En este sector se aprecian también fuertes pendientes provocadas por los aluviones y fenómenos de arrastre coluvial derivados del período invernal altiplánico.
La superficie de la Depresión Intermedia está formada comúnmente por gravas con un pavimento de grandes extensiones, similar a un desierto pedregoso, en donde los fenómenos de deflación eólica están en su mínima expresión. Es así como, una vez que el viento ha arrastrado las fracciones finas, las ha depositado en otros sectores formando dunas como los barjanes al interior de Huara.
Hacia el sector precordillerano se encuentran suelos litosólicos y regosólicos muy delgados y con escaso desarrollo de horizontes con formaciones aluviales y coluviales recientes. Las terrazas y unidades de suelos antropomórficos o andenes de cultivo son construidos en laderas, formando sistemas de andenería.

**c) Precordillera**

La fisiografía en general es abrupta. El paisaje se compone de planos remanentes muy disectados, lomajes, colinas precodilleranas y un núcleo montañoso escarpado, surcado por quebradas, algunas de las cuales mantienen alguna utilización agrícola en sus partes más bajas.
Existen en esta zona enormes depósitos de lavas riolíticas que fueron originadas, probablemente por flujos de lavas durante el terciario. Litológicamente el material que forma este depósito corresponde a riolitas e ignimbritas, de carácter ácido, encontrándose también en sectores en que aparecen andesitas y basaltos cuaternarios.
Debido a fenómenos de erosión hídrica antigua, esta formación ha sido profundamente disectada, originándose enormes quebradas, las cuales actualmente son surcadas por pequeños cauces de agua carentes de energía para continuar con el proceso erosivo.
En general los suelos son delgados, de colores pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro. De textura moderadamente gruesas con gravilla fina y de media abundante con buen drenaje. Las características de estos suelos son variables y su aptitud depende de su construcción y manejo. En el sector correspondiente a la quebrada de Tarapacá presenta suelos de terrazas aluviales y suelos de terraza artificial. Las primeras presentan, en su mayoría, una topografía plana con pendiente de 1% a 2%, con suelos moderadamente profundos, de textura heterogénea y con buen arraigamiento.
En el Cuadro 3.4.2-1 se presenta un resumen de las principales características de los suelos de la comuna de Huara.

**CUADRO 3.4.2-1**
**RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| Unidad fisiográfica | Sector ecológico | Material parental | Topografía | Altura promedio | Aptitud potencial | Limitaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cordillera de la Costa | Terraza y acantilados litorales | Coluvios arenosos con sedimentos aluviales y marinos | Ligero, ondulado a inclinado | 0 a 130 metros | Escasa o nula | Suelos, sales y agua. |
| | Área montañosa árida | Sedimento jurásico, granítica, roca jurásica, sedimento cuaternarios | Ondulado a quebrado | 700 a 1.300 metros | Escasa o nula | Suelos, sales, topografía, agua |
| | Depresiones intermontanas áridas | Sedimentos arenosos, limos cuaternarios volcánicos y sedimentos cuaternarios | Plano con microrelieves | 0 a 700 metros<br>de 0 a 200 metros | Nula<br>Moderada a buena | Suelos, sales, agua.<br>Sales |
| Depresión Intermedia | Depresiones sedimentarias salinas | Sedimento arenoso, limos, arcillas | Plano con microrelieves | 600 a 2.000 metros | Escasa a moderada | Sales, suelos, agua. |
| | Planicies sedimentarias de aluviones | Sedimento cuaternario gravosos con sales<br>Sedimentos volcánicos cuaternario y terciario aluvio-coluviales | Plano a ligero ondulado | 970 a 2.030 metros | Nula | Suelos, sales, agua y aluviones |
| | Planicies inclinadas | Sedimentos cuaternarios y terciarios gravoso y roca volcánica.<br>Ignimbritas | Ondulado/ Ondulado a inclinado | 800 a 3.500 metros | Nula o escasa (espacios locales) | Suelos, clima (viento), agua, topografía |
| | Planicies arenosas con influencia eólica | Arenas con influencia eólica.<br>Sedimentos aluviales y coluviales. | Plano a moderado ondulado | 1.000 a 3.000 metros | Escasa o nula | Suelos. Clima. Agua |
| | Areas agrícolas de quebradas, laderas y zonas desérticas | Aluviale y/o coluviales.<br>Sedimento arenoso, terciario y cuaternario | Plano a ligero ondulado<br>Ondulado | 700 a 1.000 metros | Moderada a buena | Sales, suelos, topografía |
| Precordillera | Precordillera semidesértica marginal de altura | Rocas volcánicas terciarias y cuaternarias | Ondulado disectado<br>Ondulado a quebrado | 3.300 a 4.000 metros | Escasa o nula, utilidad en praderas naturales | Suelos, topografía, clima |
| | Área agrícola de quebrada con terrazas | Roca volcánica riolítica y granítica | Terrazas artificiales<br>Ondulado a quebrado | 2.955 a 3.600 metros | Escasa a moderada | Clima, agua, topografía. |

Fuente: Elaborados a partir de datos IREN-SERPLAC, I Región 1978.

## 2.4.3. Tamaño de la Propiedad Agrícola

En el área de estudio, dado el contexto del entorno desértico en el que se ubica, se produce que la superficie predial efectivamente utilizada en agricultura intensiva sea un porcentaje bastante bajo de la superficie total predial. Lo anterior es observable a partir de la información del Censo 2007 desarrollado por INE, de donde tienen además sustento los análisis del presente y siguientes acápites.

De ello se desprende que, para la comuna de Huara, el 90% de los predios con tierra tienen un tamaño menor a 5 ha, lo que contrasta con su importancia en términos de superficie, llegando sólo al 7,3%. Por otra parte, los predios de tamaño entre 5 y 100 ha corresponden al 8,6% del total de los predios y al 8,7% de la superficie agropecuaria. Los predios de 100 a 2.000 hectáreas representan un 1,15% del total de predios, y un 18,5% de la superficie.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Finalmente, los predios mayores a 2.000 hectáreas, que abarcan el 65,5% de la superficie, representan el 0,29% del total de predios (ver Cuadro 3.4.3-1).

**CUADRO 3.4.3-1**
**EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS CON TIERRA COMUNA DE HUARA**

| Rango de tamaño (ha) | Nº de Explotaciones con tierra | Sup (ha) 2007 |
|---|---|---|
| Menores de 1 | 186 | 62,5 |
| De 1 a menos de 5 | 128 | 250,6 |
| De 5 a menos de 10 | 17 | 112,7 |
| De 10 a menos de 20 | 10 | 108,2 |
| De 20 a menos de 50 | 2 | 75,4 |
| De 50 a menos de 100 | 1 | 75,5 |
| De 100 a menos de 200 | 2 | 281,9 |
| De 200 a menos de 500 | 2 | 508,0 |
| De 500 a menos de 1000 | 0 | 0,0 |
| De 1000 a menos de 2000 | 0 | 0,0 |
| De 2000 y más | 1 | 2.803,0 |
| **Total Superficie** | **349** | **4.277,8** |

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

## 2.4.4. Antecedentes Productivos

## 2.4.4.1. Actividad Agrícola

A continuación se presentan los antecedentes generales que permiten establecer el contexto agropecuario en el cual se encuentra inserta el área de estudio. Es importante indicar que la información productiva detallada del área de estudio es presentada en las siguientes etapas de la consultoría.

Según INE (2007), en la comuna de Huara existen 357 explotaciones silvoagropecuarias con y sin tierra, las que abarcan una superficie total de 7.277,8 ha. De ésta superficie, el 58,5% tiene actividad agropecuaria (Cuadro 3.4.4.1-1).


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 2.4.4.1-1
## RESUMEN INFORMACIÓN PREDIAL COMUNA DE HUARA AÑO 2007

| Tipo Explotaciones | Nº | Superficie (ha) 2007 |
|---|---|---|
| 1. Total Censadas | 357 | 7.277,8 |
| 1.1 Agropecuarias | 351 | 4.277,8 |
| 1.1.1 Con Tierra | 349 | 4.277,8 |
| 1.1.1.1 Con Actividad | 338 | 4.256,8 |
| 1.1.1.2 Temporalmente sin Actividad | 11 | 21,0 |
| 1.1.2 Sin tierra | 2 | - |
| 1.2 Explotaciones Forestales | 6 | 3.000,0 |

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

Por otra parte, la distribución de la superficie agropecuaria con tierra y con actividad para la comuna de Huara se resume en el Cuadro 3.4.4.1-2. De esta información se observa que sólo un 14% corresponde a suelos de cultivo, mientras la mayor cantidad de superficie se clasifica como "otros suelos", principalmente debido a un 74,6% de superficie con praderas naturales. A nivel regional los suelos de cultivo solo llegan al 2% de la superficie total de explotaciones agropecuarias con tierra y la superficie ocupada por praderas naturales es de 95,3%.

## CUADRO 2.4.4.1-2
## SUPERFICIE AGROPECUARIA COMUNA DE HUARA AÑO 2007

| Superficie agropecuaria según uso del suelo | Sup. 2007 (ha) Comuna | Sup. 2007 (ha) Región |
|---|---|---|
| **Total Explotaciones Agropecuarias** | **4.277,8** | **325.922,1** |
| **Total suelos de cultivo** | **599,0** | **6.662,9** |
| Cultivos anuales y permanentes | 204,6 | 2.388,6 |
| Forrajeras permanentes y de rotación | 73,5 | 154,1 |
| En barbecho y descanso | 320,9 | 4.120,2 |
| **Total otros suelos** | **3.678,7** | **319.259,2** |
| Praderas mejoradas | 0,1 | 12,2 |
| Praderas naturales | 3.193,1 | 310.735,3 |
| Plantaciones forestales | 1,0 | 825,4 |
| Bosque nativo | 0,0 | 0,0 |
| Matorrales | 24,9 | 525,5 |
| Infraestructura | 4,0 | 65,0 |
| Terrenos estériles | 455,6 | 7.095,8 |

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se observa el dominio de superficie clasificada como barbechos y suelos de descanso en la zona, debido probablemente a la falta de agua para su explotación, situación que también se aprecia a nivel regional, seguido en superficie por los cultivos anuales y permanentes.
En el Cuadro 3.4.4.1-3 se presenta la estructura de cultivos para la comuna de Huara junto a las superficies que abarcan al año 2007. Se observa un claro predominio de las hortalizas a nivel comunal, seguido por las forrajeras, mientras que a nivel regional el predominio es de los cereales seguidos de las hortalizas.

**CUADRO 2.4.4.1-3**
**ESTRUCTURA DE CULTIVOS COMUNA DE HUARA AÑO 2007**

| Cultivo | Sup. Comunal (ha) 2007 | Estructura (%) | Sup. Regional (ha) 2007 | Estructura (%) |
|---|---|---|---|---|
| **Cereales** | 18,8 | 6,31 | 1.378,7 | 52,63 |
| **Leguminosas y tubérculos** | 0,4 | 0,13 | 93,6 | 3,57 |
| **Cultivos industriales** | 0,0 | 0,00 | 0,1 | 0,00 |
| **Hortalizas** | 177,5 | 59,49 | 582,8 | 22,25 |
| **Flores** | 0,5 | 0,15 | 3,3 | 0,13 |
| **Plantas forrajeras** | 73,6 | 24,67 | 154,2 | 5,89 |
| **Frutales** | 27,3 | 9,15 | 393,1 | 15,01 |
| **Viñas y parronales viníferos** | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,00 |
| **Viveros** | 0,0 | 0,00 | 0,1 | 0,00 |
| **Semilleros** | 0,3 | 0,10 | 13,9 | 0,53 |
| **TOTAL** | **298,3** | **100,00** | **2.619,8** | **100,00** |

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

En el Cuadro 3.4.4.1-4 se presenta la distribución de la superficie destinada a especies frutales. Queda de manifiesto la poca relevancia de los frutales en cuanto a superficie remitiéndose a escasas plantaciones de guayabo, membrillo y huertos caseros. No se descarta por este hecho el potencial frutícola de la zona según sus características agroclimáticas y de suelos ante un eventual proyecto de riego.

**CUADRO 2.4.4.1-4**
**SUPERFICIE PLANTADA CON ESPECIES FRUTALES COMUNA DE HUARA AÑO 2007**

| Frutales | Superficie Plantada con Frutales (ha) 2007 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | En Formación | | En Producción | TOTAL |
| | Plantada en el Año Agrícola 2006/2007 | Total | | |
| **Ciruelo japonés** | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,4 |
| **Duraznero fresco** | 0,0 | 0,0 | 1,8 | 1,8 |
| **Granado** | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,4 |
| **Guayabo** | 0,0 | 0,5 | 4,9 | 5,4 |
| **Huerto casero** | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,3 |
| **Limonero** | 0,1 | 0,2 | 0,8 | 1,0 |
| **Mango** | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 2.4.4.1-4
## SUPERFICIE PLANTADA CON ESPECIES FRUTALES COMUNA DE HUARA AÑO 2007

| Frutales | Superficie Plantada con Frutales (ha) 2007 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | En Formación | | En Producción | TOTAL |
| | Plantada en el Año Agrícola 2006/2007 | Total | | |
| **Membrillo** | 0,0 | 2,6 | 3,5 | 6,0 |
| **Naranjo** | 0,0 | 0,4 | 1,5 | 1,8 |
| **Otros frutales** | 0,0 | 1,3 | 0,4 | 1,8 |
| **Palto** | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| **Peral europeo** | 0,0 | 2,6 | 0,7 | 3,3 |
| **Tumbo** | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,5 |
| **Tuna** | 0,0 | 1,2 | 2,9 | 4,2 |
| **TOTAL** | **0,1** | **8,9** | **18,4** | **27,3** |

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

INE (2007) indica que casi el 60% de la superficie de cultivos posee hortalizas (162 ha), exclusivamente al aire libre. Tal como se muestra en el Cuadro 3.4.4.1-5, el choclo, el melón y el orégano son los cultivos de mayor importancia, sumando el 55% de la superficie de hortalizas, destacando que el 45% restante corresponde a gran diversidad de cultivos como se aprecia en el cuadro, destacando el ajo, la zanahoria, la lechuga y la cebolla.

## CUADRO 2.4.4.1-5
## SUPERFICIE CULTIVADA CON HORTALIZAS COMUNA DE HUARA AÑO 2007

| Hortalizas | Superficie Hortalizas (ha) 2007 | | |
|---|---|---|---|
| | Al Aire Libre | Invernadero | Total |
| **Acelga** | 1,2 | 0,0 | 1,2 |
| **Ajo** | 16,7 | 0,0 | 16,7 |
| **Apio** | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| **Arveja verde** | 0,7 | 0,0 | 0,7 |
| **Betarraga** | 2,5 | 0,0 | 2,5 |
| **Cebolla de guarda** | 5,1 | 0,0 | 5,1 |
| **Cebolla temprana** | 8,9 | 0,0 | 8,9 |
| **Choclo** | 36,1 | 0,0 | 36,1 |
| **Ciboulette** | 3,9 | 0,0 | 3,9 |
| **Cilantro** | 1,0 | 0,0 | 1,0 |
| **Espárrago** | 0,9 | 0,0 | 0,9 |
| **Haba** | 0,8 | 0,0 | 0,8 |
| **Huerta casera** | 1,6 | 0,0 | 1,6 |
| **Lechuga** | 15,1 | 0,0 | 15,1 |
| **Melón** | 34,4 | 0,0 | 34,4 |
| **Orégano** | 27,0 | 0,0 | 27,0 |
| **Otras hortalizas** | 4,9 | 0,0 | 4,9 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Perejil** | 1,0 | 0,0 | 1,0 |
| **Zanahoria** | 15,4 | 0,0 | 15,4 |
| **TOTAL** | 177,5 | 0,0 | 177,5 |

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

El Cuadro 3.4.4.1-6 muestra la superficie y el rendimiento promedio del grupo de cereales, leguminosas y tubérculos, de acuerdo a INE (2007). Según esta información la mayor cantidad de superficie la ocupa la clasificación "otros cereales" donde presumiblemente sean trigo, avena o cebada de secano para consumo animal. Llama la atención el elevado rendimiento en la papa, posiblemente debido a su cultivo en pequeñas superficies y a condiciones agroclimáticas favorables de adaptabilidad.

**CUADRO 2.4.4.1-6**
**SUPERFICIE DE CEREALES, LEGUMINOSAS Y TUBERCULOS**
**COMUNA DE HUARA AÑO 2007**

| Cultivo | Superficie 2007 (ha) | | | Rend. Promedio (qqm/ha) |
|---|---|---|---|---|
| | Total | En riego | En secano | |
| **Maíz (grano seco)** | 0,55 | 0,55 | 0 | 23,64 |
| **Otros cereales** | 18,27 | 0,27 | 18 | 0 |
| **Papa** | 0,39 | 0,39 | 0 | 217,95 |
| **TOTAL** | 19,2 | 1,2 | 18 | - |

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

Finalmente, cabe mencionar la importante presencia de tamarugo como única especie forestal en la comuna, registrándose según el INE 2007 una superficie de 2.900 ha, pero posiblemente y en su mayoría sin objetivo comercial y con algún grado de manejo administrado por Conaf.

## 2.4.4.2. Actividad Ganadera

El detalle de especies ganaderas a nivel comunal sólo está especificado para el censo 2007, ya que el del 1997 detalla la masa ganadera hasta el nivel de provincia. La masa ganadera comunal está representada mayormente por ganado ovino y camélidos con un 70% de la masa ganadera, seguida de cerdos y equinos con un 20% del total. El Cuadro 3.4.4.2-1 resume las cabezas de ganado por especie, para la Comuna de Huara al año 2007.

**CUADRO 2.4.4.2-1**
**EXISTENCIAS PECUARIAS POR ESPECIE**

| Especie | Cabezas |
|---|---|
| **Bovinos** | 66 |
| **Ovinos** | 1.336 |

| | |
|---|---|
| **Cerdos** | 402 |
| **Equinos** | 358 |
| **Caprinos** | 290 |
| **Camélidos** | 1.284 |

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

### 2.4.5. Sistema de Riego Intrapredial

Se puede observar en el Cuadro 3.4.5-1, que de un total de 254,6 ha de riego, el 78,6% son regadas por métodos gravitacionales, en su totalidad riego tendido, mientras que un 21,4% se riega por goteo.

**CUADRO 2.4.5-1**
**SISTEMAS DE RIEGO UTILIZADOS EN COMUNA DE HUARA AÑO 2007**

| Método de Riego | Sup. (ha) | % |
|---|---|---|
| **Riego gravitacional** | 200,0 | 78,6 |
| **Tendido** | 200,0 | 78,6 |
| **Surco** | 0,0 | 0,0 |
| **Otro tradicional** | 0,0 | 0,0 |
| **Mecánico mayor** | 0,0 | 0,0 |
| **Aspersión tradicional** | 0,0 | 0,0 |
| **Carrete o pivote** | 0,0 | 0,0 |
| **Microriego** | 54,6 | 21,4 |
| **Goteo y cinta** | 54,6 | 21,4 |
| **Microaspersión y microjet** | 0,0 | 0,0 |
| **Total Superficie Regada** | 254,6 | 100,0 |

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

## *2.5. caracterizacion Ambiental*

Realizada la revisión de los estudios ambientales, se seleccionaron aquellos tópicos interesantes de relevar en esta primera etapa del estudio, los que se describen a continuación. Toda la información cartográfica utilizada a continuación, se encuentra disponible en el Anexo 3-1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 2.5.1. Zonas Protegidas

En la zona inmediatamente aguas arriba de la zona de emplazamiento del proyecto existe un área perteneciente al sistema de áreas silvestres protegidas por el estado (SNASPE)[7], y que también se encuentra dentro los sitios prioritarios establecidos en la Estrategia y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de la Región de Tarapacá[8],. Corresponde al Parque Nacional Volcán Isluga. Así también a 45 km aguas abajo del lugar del emplazamiento de la obra se encuentra La Reserva Nacional Pampa del Tamarugal, la cual también pertenece al SNASPE y se encuentra dentro de los sitios prioritarios establecidos en la Estrategia regional mencionada. CONAF (2012)[9] realiza una descripción detallada de ambos sitios y un breve resumen se presenta a continuación.

El Parque Nacional Volcán Isluga fue creado en 1967, y actualmente tiene una superficie de 174.744 ha. La principal flora del lugar es la Queñoa de Altura, Llareta, Guacalla, Jala, Puskayo, Viejito Chastudo, Llaretilla, Ñacatola, Tola Supu, Chachacoma Hembra y Paja Brava. Por su lado la principal Fauna del lugar es la Tagua Andina, Tagua Gigante, Flamenco Chileno, Flamenco Andino y Flamenco de James: las tres especies antes nombradas de flamencos se encuentran en categoría de conservación.

Respecto a la hidrología del Parque, las aguas de superficie de su territorio, se organizan en su mayoría en sistemas de carácter endorreico. La parte altiplánica del Parque incluye las cabeceras de dos cuencas con aporte al extranjero, y la parte precordillera incluye las cabeceras de una subcuenca de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Los Sistemas hidrográficos que caracterizan al Parque son: Rió Arabilla, Rió todos los Santos, Quebrada de Aroma, Quebrada de Chusmiza, Quebrada de Berenguela, Quebrada de Colca, Laguna Arabilla y Laguna Parincota.

Respecto a los suelos estos son de tipo aluvial y coluvial, los suelos son recientes y las variaciones del perfil por efecto de pedogénesis son escasas, se encuentran suelos clase VI, VII, VIII.

Por su parte, la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal fue creada en 1987 y tiene una superficie total de 100.650 ha. Las especies de flora y fauna con problemas de conservación que se pueden encontrar en la Reserva son: el Tamarugo (Vulnerable), Comesebo Tamarugo (Vulnerable), el Tuco Tuco del Tamarugo (Vulnerable) y el Corredor de Pica (Vulnerable). Además se pueden encontrar la yaca, murciélagos, zorro culpeo y quique, estos últimos corresponden a mamíferos que no cuentan con estudios suficientes por lo que su estado de conservación no está definido o aparece como rara o inadecuadamente conocida.

El drenaje total de la Reserva es subterráneo, con algunas excepciones que se generan en las lluvias estivales fenómeno que no ocurre todos los años. La circulación de las aguas

[7] CONAF. 1984. Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado

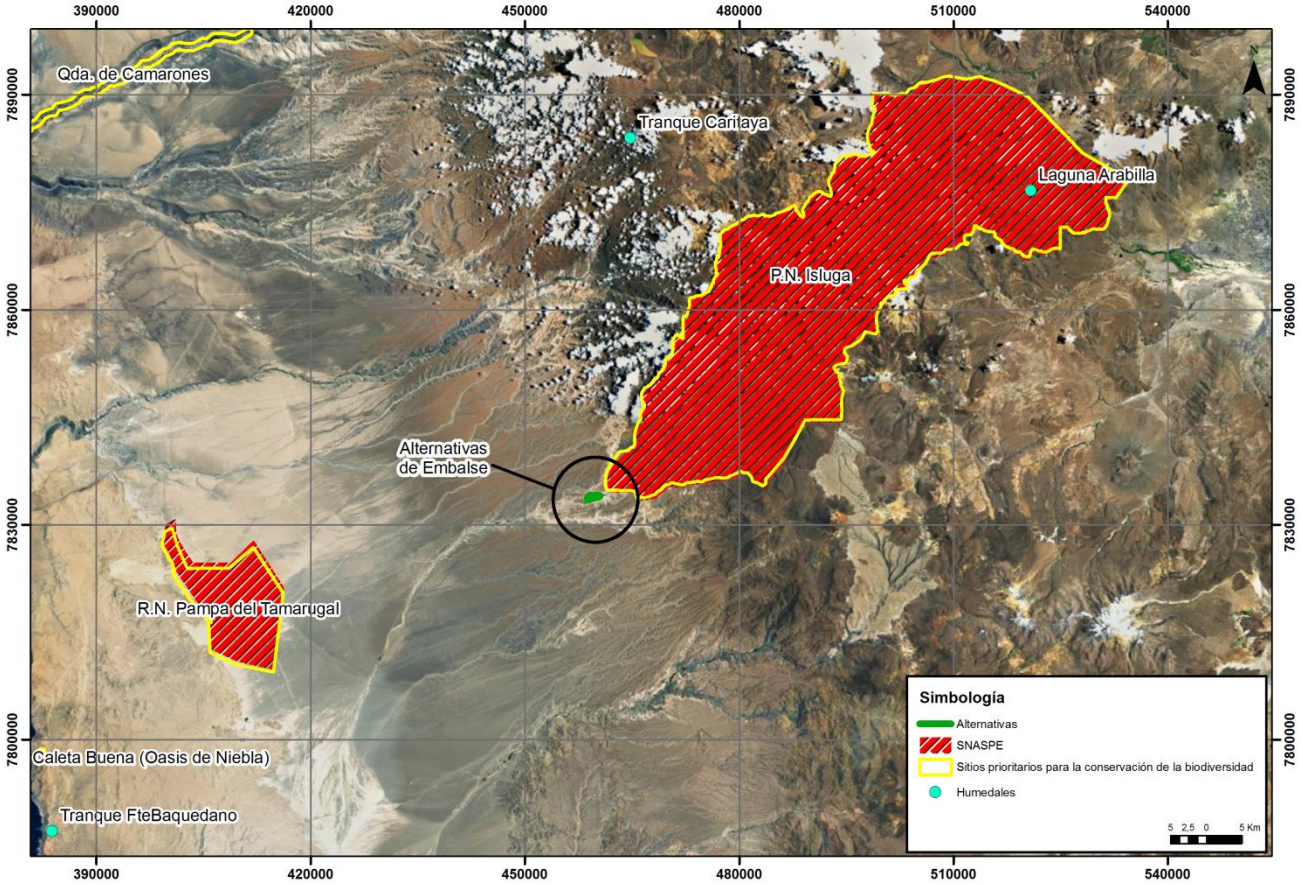
[8] CONAMA. 2002. Estrategia y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica, Región de Tarapacá.

[9] CONAF. 2012. SNASPE Zona Norte. Disponible en http://www.conaf.cl/parques/zona_norte.html


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

subterráneas es interrumpida por la Cordillera de la Costa, lo que provoca un ascenso de la napa freática.
Respecto a los suelos, Se presenta como una franja tectónica de rocas volcánicas, sobre las cuales se han depositado grandes masas de detritos de las tierras altas. Posee salares activos y semiactivos que fueron lagos interiores anteriores.
Sobre las Áreas Protegidas Privadas, no se observa ninguna en las inmediaciones del área de estudio.
A continuación se presenta la Figura 3.5.1-1, donde se puede ver la ubicación de los sitios mencionados. Las cartografías fueron obtenidas directamente desde el servidor del SINIA[10], dependiente del Ministerio del Medio Ambiente.

**FIGURA 2.5.1-1**
**ÁREAS PROTEGIDAS**



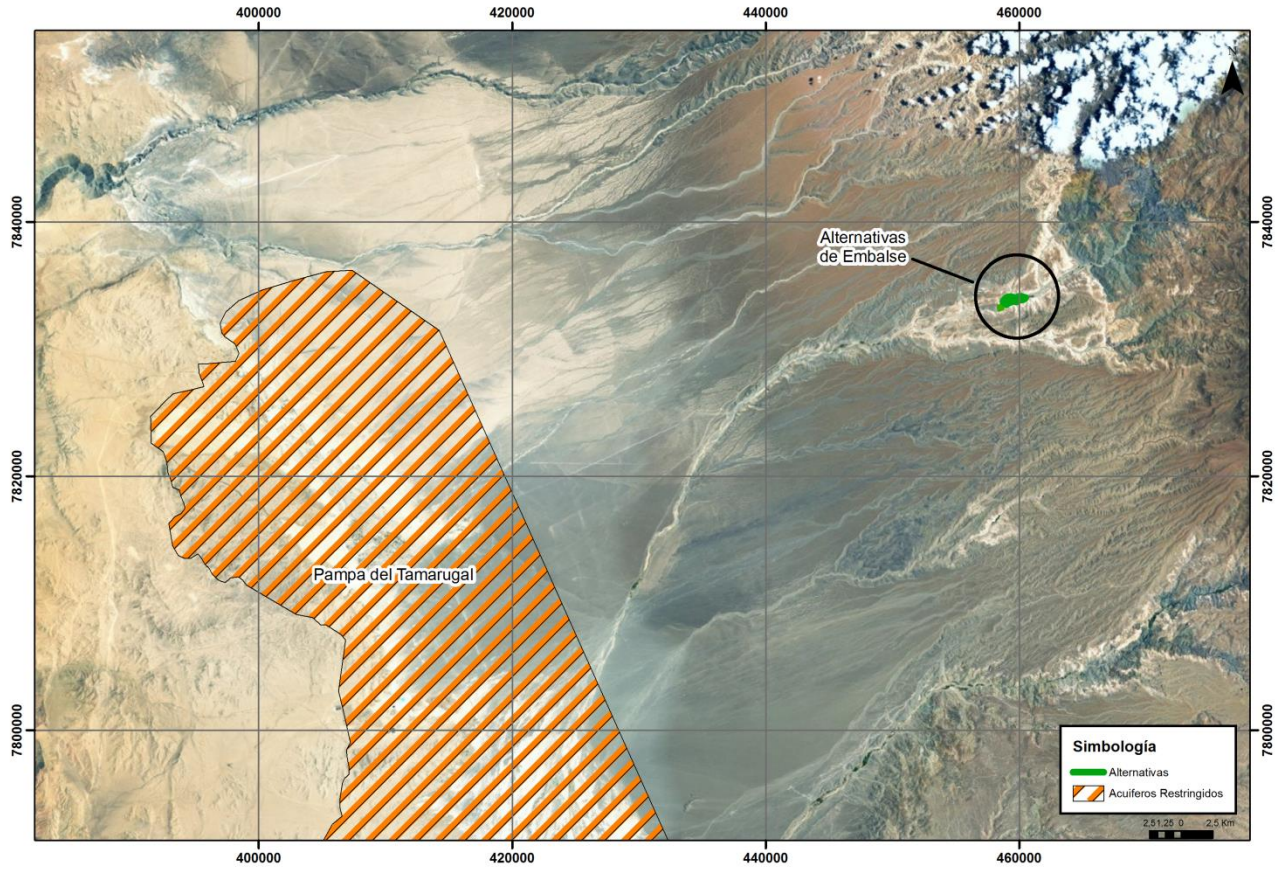

Fuente: Elaboración propia en base a cartografía SINIA

[10] Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). 2012. Sitios y Áreas Protegidas. Disponible en el http://www.sinia.cl/1292/w3-propertyvalue-15497.html

## 2.5.2. Área de Restricción

Tal como se mencionó en la descripción de estudios ambientales respecto del Informe Técnico N° 607[11], que dio origen a la Resolución N° 245 de la D.G.A., que declara como área de restricción al acuífero de Pampa del Tamarugal. El acuífero se encuentra identificado espacialmente por la DGA y fue contrastado con las alternativas de ubicación de la obra en cuestión. Se muestra a continuación, la Figura 3.5.2-1, en la que se ve la delimitación de éste acuífero y la ubicación propuesta para la obra. La distancia entre ambos corresponde a 45 km aproximadamente, no obstante y tal como se menciona en el informe técnico mencionado, la recarga de este acuífero procede de infiltración de aguas superficiales de los ríos originados en la Cordillera de los Andes como podría ser Quebrada de Aroma

**FIGURA 2.5.2-1**
**ÁREA DE RESTRICCIÓN ACUÍFERO PAMPA DEL TAMARUGAL**



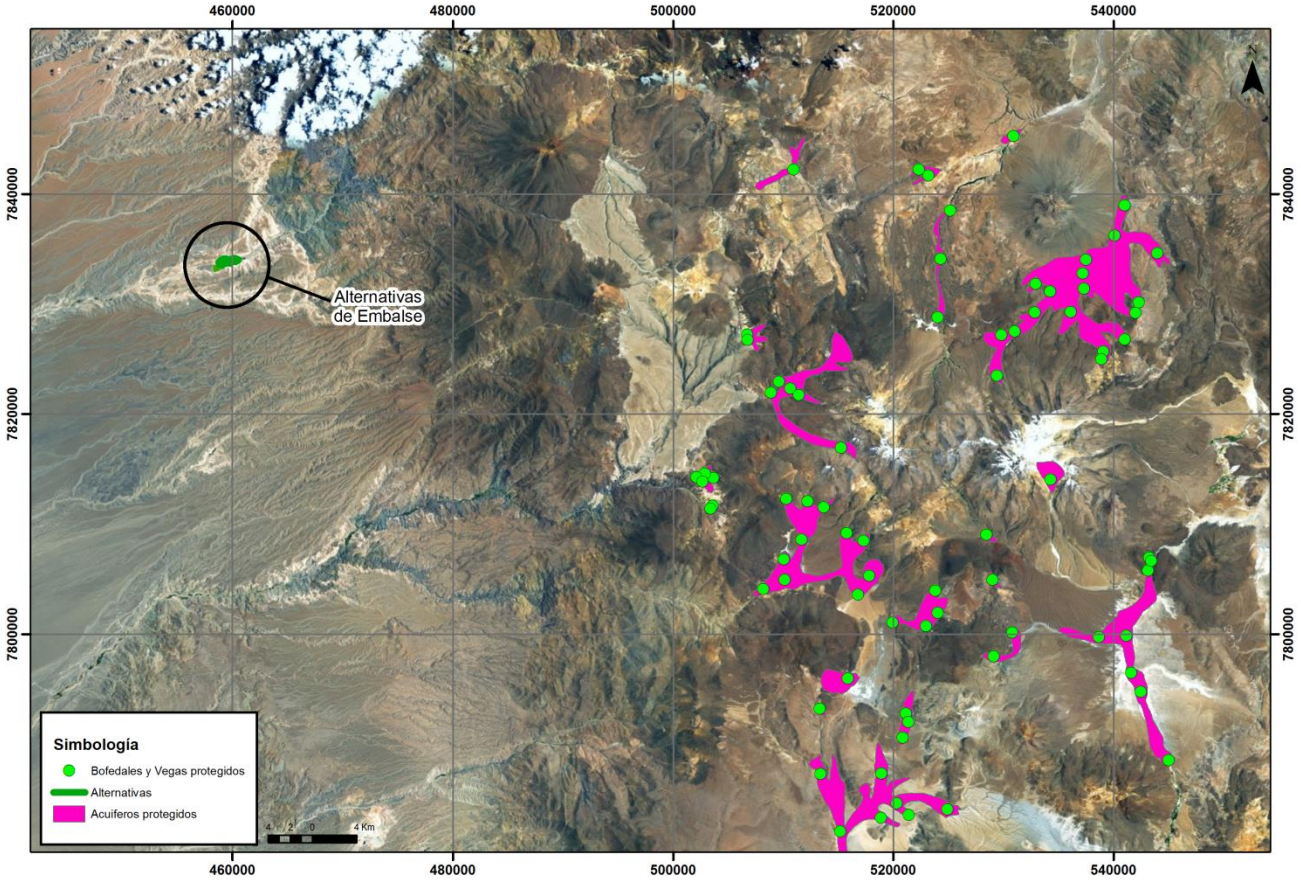

Fuente: Elaboración propia en base a cartografía D.G.A.

[11] Ministerio de Obras Públicas. 2009. Informe Técnico n° 607 Declaración Área Restricción Sector Hidrogeológico Pampa del Tamarugal.

## 2.5.3. Vegas y Bofedales

De acuerdo a lo que se mencionó en la descripción de estudios ambientales, respecto de los acuíferos protegidos que alimentan vegas y bofedales de la región[12]; se verificó la ubicación relativa de estos sitios en comparación con la ubicación de la obra propuesta. Se muestra a continuación, la Figura 3.5.3-1 en la que se ve la delimitación de los acuíferos protegidos y los puntos identificados como vegas y bofedales más próximas a la mencionada zona. Como es posible apreciar, las vegas y bofedales y sus respectivos acuíferos, no se encuentran en la zona de emplazamiento de la obra estudiada, existiendo una distancia de 48 km aproximadamente entre estos y la ubicación de la obra.

**FIGURA 2.5.3-1**
**ÁCUÍFEROS PROTEGIDOS QUE ALIMENTAN VEGAS Y BOFEDALES**




Fuente: Elaboración propia en base a Resolución D.G.A. N°464

[12] D.G.A. 2006. Resolución 464. Identifica y delimita zonas que alimentan áreas de vegas y bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta

## 2.5.4. Proyectos Ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)

A través de la plataforma web del SEIA[13], se ha podido acceder a aquellos estudios de los proyectos ingresados al sistema, cercanos a la zona de estudio. Estos estudios pueden ser relevantes ya que poseen la descripción de las Líneas Base, y dentro de ésta el medio biótico sería de particular importancia (especialmente en el caso de los EIA). Estos antecedentes podrían ser usados eventualmente en el marco del Estudio de Análisis Ambiental (EAA) de la presente consultoría, como fuente secundaria y complementaria de información ambiental (ej.: listados de especies potenciales). El Cuadro 3.5.4-1 muestra el listado de los proyectos ingresados, cuya información de línea base se encuentra disponible y la Figura 3.5.4-1 muestra la localización de estos estudios respecto de la ubicación propuesta para la obra.

**CUADRO 2.5.4-1**
**ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL CERCANOS A LA UBICACIÓN DE LA OBRA**

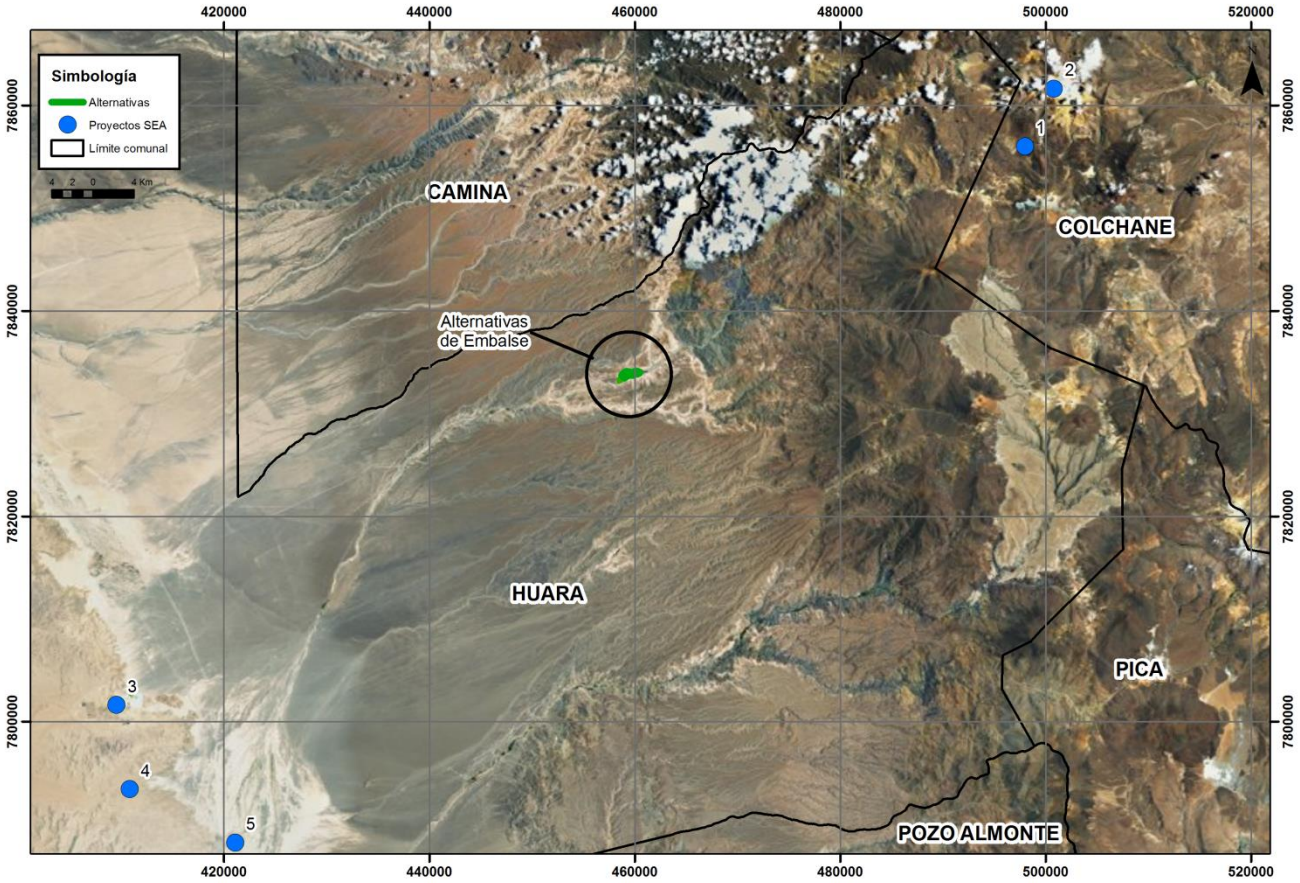
| N° | Proyecto | Titular |
|---|---|---|
| 1 | EIA Exploración Geotérmica Puchuldiza Sur 2 | GGE CHILE SPA |
| 2 | DIA Exploración Minera Puchuldiza | MINERA SOUTHERN LEGACY CHILE LTDA |
| 3 | DIA Ampliación Planta de Producción de Yodos Negreiros | SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA CORPORACIÓN DE DESARROLLO DEL NORTE |
| 4 | DIA Producción de Yodo Huara | SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA COPIAPÓ |
| 5 | DIA Planta Solar Fotovoltaica Huara III | ARAUCARIA SOLAR SERVICES CHILE, S.A. |

Fuente: Elaboración propia a partir del SEIA

[13]Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). 2012. Sistema de Evaluación de Impacto ambiental, buscador de proyectos. Disponible en http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 2.5.4-1**
**ESTUDIOS SEIA**




Fuente: Elaboración propia a partir del SEIA

## *2.6. Reconocimiento del Área de Estudio*

En este Acápite se reporta el reconocimiento del área de estudio por la consultora durante las primeras dos campañas de terreno realizadas entre los días el 21 y 25 de enero y el 11 y 13 de febrero de 2013.

Principalmente, se realizó una interiorización de las condiciones existentes, en los ámbitos propios de las distintas especialidades o profesiones, tales como agro-economía, geología-geotécnica, topografía, hidrología, ingeniería de presas y temas ambientales, entre otros.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 2.6.1. Campañas Realizadas

Se realizaron dos campañas de reconocimiento de la quebrada de Aroma y sus alrededores con el fin de revisar y definir los diferentes aspectos del estudio entre los que están:

- Posibles sitios de emplazamiento del muro.
- Ubicación de bocatomas y canales de regadío existentes en la quebrada de Aroma.
- Sectores Agrícolas usados actualmente ó en el pasado.
- Otras actividades ligadas, como por ejemplo, la búsqueda de información y los antecedentes indicados por los habitantes de la zona.

En los acápites siguientes se describen por separado los puntos indicados anteriormente.

### 2.6.2. Posibles Sitios de Emplazamiento del Muro

Las visitas para determinar los posibles emplazamientos de muro se realizaron durante los días 22 y 23 de Enero de 2013 con la presencia del Jefe de Proyecto, el ingeniero Luis Arrau del Canto, el ingeniero Jefe de Proyecto (S) José Lagos Rehfeld, los ingenieros ayudantes Diego Mena y Cristóbal Mosqueira, los Ingenieros en recursos naturales Yuri Castillo, Wilson Ureta, Claudia Lizana y Valeska Cárcamo, el constructor civil Carlos Torres y el Ingeniero Agrónomo Rafael Langdon.
Además se contó con la presencia de Osvaldo Fuentes poblador y conocedor de parte del área de estudio.
Posteriormente, el día 12 de febrero, Luis Arrau y José Lagos acompañados por el coordinador de la CNR, el ingeniero Gastón Valenzuela, realizaron una visita a los posibles sitios de embalse con el fin de inspeccionar si eran los adecuados para la continuación del estudio. Se concluyó entre las partes, consultor y CNR, que los sitios propuestos cumplían con las características necesarias para ser potenciales emplazamientos de muro.
Durante estas visitas se reconocieron los caminos existentes hasta el sector de Misticsa, lugar donde se propone por la Comisión Nacional de Riego (CNR) la construcción de un embalse y se revisaron los posibles accesos desde el camino principal hasta dicho punto. Además se recorrió la Quebrada para ubicar posibles alternativas de emplazamiento del Muro y se encontraron dos puntos más para evaluar.
En la Figura 3.6.2-1 se indican los sitios visitados y propuestos como alternativas de emplazamiento durante el terreno. Finalmente, en las Figuras 3.6.2-2 a la 3.6.2-4, se incluyen fotografías de los sitios visitados.

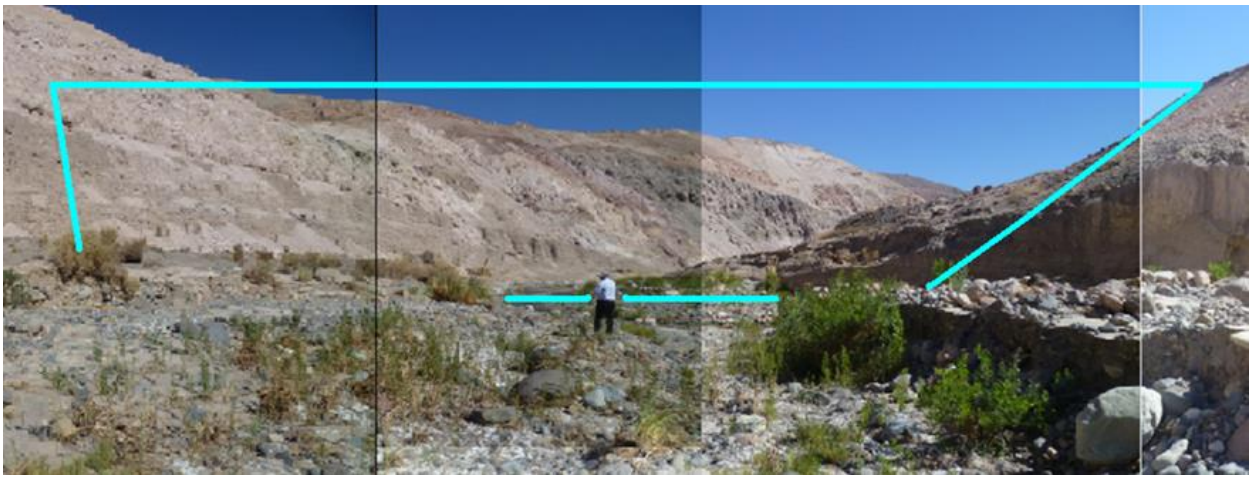
**FIGURA 2.6.2-1**
**UBICACIÓN DE SITIOS VISITADOS DE INTERÉS**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Elaboración propia a partir información Google Earth

**FIGURA 2.6.2-2**
**UBICACIÓN DE MURO ALTERNATIVA 1**



Fuente: Elaboración propia

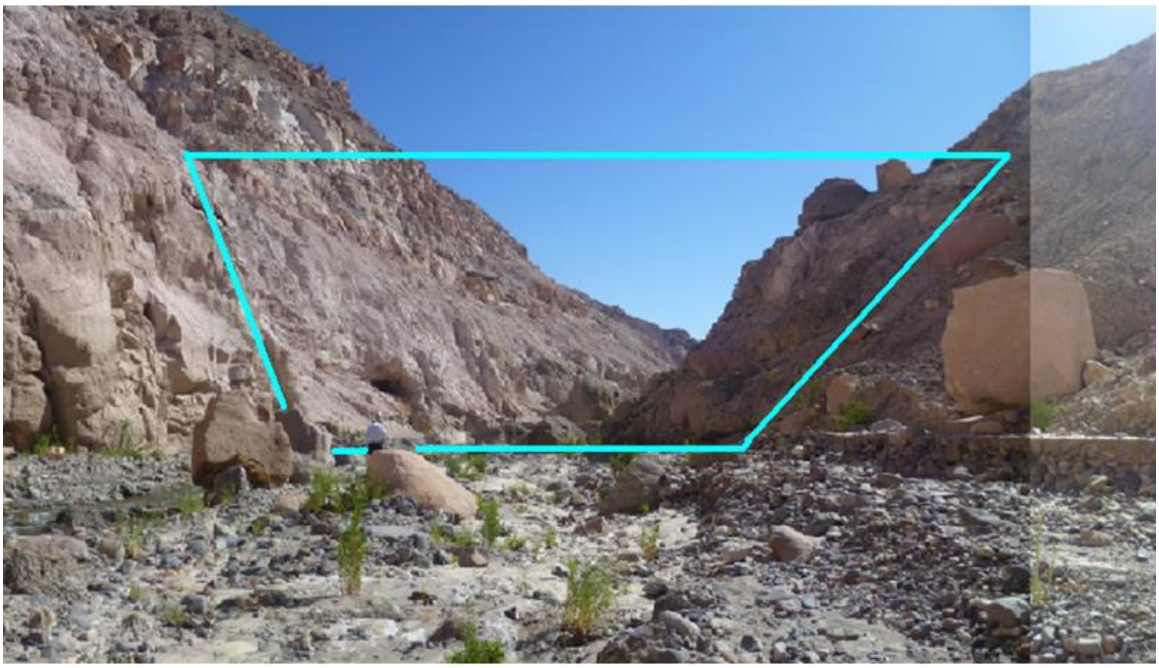

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 2.6.2-3**
**UBICACIÓN DE MURO ALTERNATIVA 2**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 2.6.2-4**
**UBICACIÓN DE MURO ALTERNATIVA 3**



Fuente: Elaboración propia

### 2.6.3. Ubicación de Bocatomas y Canales

Las visitas para ubicar las bocatomas y canales, con uso actual o pasado, en la quebrada de Aroma, se realizaron durante el día 24 de Enero de 2013 con la presencia del ingeniero especialista José Lagos Refheld, los ingenieros ayudantes Diego Mena y Cristóbal Mosqueira y los Ingenieros en recursos naturales Yuri Castillo y Valeska Cárcamo.

Además se contó con los relatos de los señores Rubén Choque, actual arrendatario de la primeras Chacras del sector de Ariquida y Adán Choque dueño de chacras del mismo sector.

La búsqueda de infraestructura de riego se concentró dentro de la quebrada de Aroma entre el sector de Misticsa y Curaña, que corresponde al área de influencia del presente estudio.

En Orden de aguas arriba a aguas abajo los canales encontrados quedarían enlistados de la siguiente manera:

- Canal Pailca (Ribera Izquierda)
- Canal Cala Cala (Ribera Derecha)
- Canal Cala Cala 2 (Ribera Izquierda)
- Canal 1 (Desconocido) (Ribera Izquierda)
- Canal Ariquilda 1 (Ribera Derecha)
- Canal Ariquilda 2 (Ribera Derecha)
- Canal Ariquilda 3 (Ribera Izquierda)
- Canal Ariquilda 4 (Ribera Derecha)
- Canal Curaña (Ribera izquierda)


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

De los canales mencionados no se encontró la huella de los canales ubicados en el sector de Cala Cala, y se encontró el rastro de un canal antiguo al cual se le denominó Canal 1. En las Figuras 3.6.3-1 a 3.6.3-8 se presentan las fotografías de los canales y bocatomas ubicadas en terreno.

De la lista anterior solo se están utilizando actualmente el Canal Ariquida 1 y el Canal Ariquilda 3, el resto de los canales se encuentra sin uso y en algunos casos cortado y destruido por el paso del río.

De manera adicional en el Anexo 3-3 se incluye el Catastro de Canales Realizado por en la presente consultoría.

**FIGURA 2.6.3-1**
**FOTOGRAFÍAS CANAL PAILCA**

| No se ve presencia de trabajos en la actualidad, ni limpieza de canales | Terreno cubierto de maleza al igual que canales sin agua |
|---|---|
|  |  |
| **Antigua entrega a Eras** | **Eras abandonadas** |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 2.6.3-1
## FOTOGRAFÍAS CANAL PAILCA





Fuente: Elaboración propia

## FIGURA 2.6.3-2
## FOTOGRAFÍAS CALA CALA

**No se observo el trazado de canales según relatos de lugareños el río se llevó gran parte de las terrazas de cultivo del sector de Cala Cala y fue abandonado**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 2.6.3-2
## FOTOGRAFÍAS CALA CALA



Fuente: Elaboración propia

## FIGURA 2.6.3-3
## FOTOGRAFÍAS CANAL 1 (DESCONOCIDO)

**Se encontró la presencia de un canal el cual fue abruptamente destruido por el desmoronamiento de la terraza por donde pasaba, en la foto se aprecia donde se corta la terraza producto del paso del agua**




Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 2.6.3-3
## FOTOGRAFÍAS CANAL 1 (DESCONOCIDO)

| En esta foto se aprecia el terreno carcomido por la el río |
|---|
|  |



Fuente: Elaboración propia

## FIGURA 2.6.3-4
## FOTOGRAFÍAS CANAL ARIQUILDA 1

| Bocatoma, barrera de piedras | Terreno cubierto de maleza al igual que canales sin agua |
|---|---|


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 2.6.3-4
## FOTOGRAFÍAS CANAL ARIQUILDA 1



Fuente: Elaboración propia

## FIGURA 2.6.3-5
## FOTOGRAFÍAS CANAL ARIQUILDA 2

| Canal completamente seco | Desagüe al río |
|---|---|
|  |  |

Fuente: Elaboración propia

## FIGURA 2.6.3-6
## FOTOGRAFÍAS CANAL ARIQUILDA 3

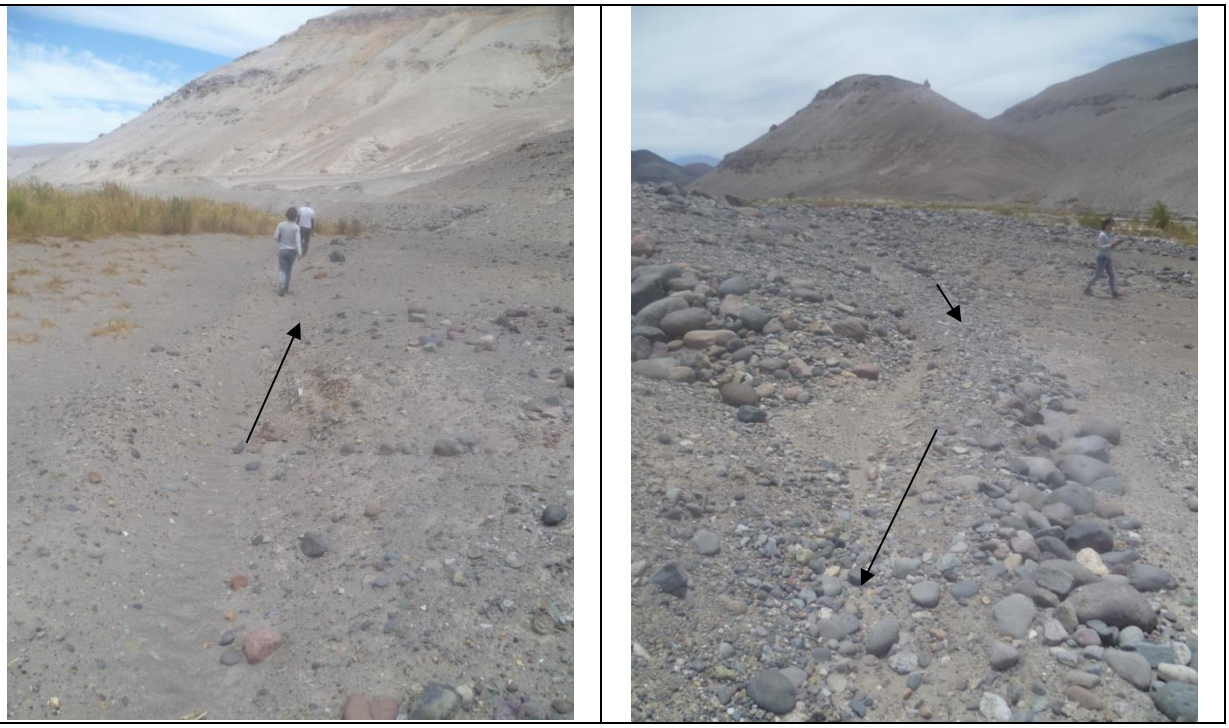
| Canal en uso riego cultivos | Pequeña entrega rustica |
|---|---|
|  |  |

Fuente: Elaboración propia

## FIGURA 2.6.3-7
## FOTOGRAFÍAS CANAL ARIQUILDA 4

| Pequeña huella del canal antiguo | Continuación del canal |
|---|---|

**FIGURA 2.6.3-7**
**FOTOGRAFÍAS CANAL ARIQUILDA 4**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 2.6.3-8**
**FOTOGRAFÍAS CANAL CURAÑA**

| Comienzo del canal entubado | Continuación del canal tubería enterrada |
|---|---|
|  |  |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: Elaboración propia

### 2.6.4. Sectores Agrícolas

El primer reconocimiento de los sectores de riego, con uso actual o pasado en la quebrada de Aroma, se realizó durante los días 23 y 24 de Enero de 2013 con la presencia del equipo consultor.

El riego actual en el valle se limita a unos pocos agricultores en la zona de la presa, los suelos agrícolas existentes desde Ariquilda hacia abajo han sido destruidos por las sucesivas crecidas del río, siendo preferible regar zonas de la pampa en vez de recuperar estos suelos. La excepción corresponde a un amplio sector de vegas que existe en la zona de Curaña de alrededor de 43 ha, que antiguamente fueron regadas y que probablemente fueron abandonadas por los efectos de las crecidas, que en este sector inundan el valle por completo. Durante la visita se ubicaron en la parte alta del valle los siguientes sectores de Riego:

- Misticsa: Se estima una superficie de 2,2 ha, estas tierras quedarían bajo el agua si se concretara el proyecto de embalse.
- Pailca: Se estima una superficie de 6,3 ha.
- Cala Cala: El área estimada de 2,9 ha es lo que queda en la actualidad, este sector ha sido fuertemente afectado y dañad por el efecto de las crecidas.
- Ariquilda: El área total se divide en 4 partes que en total suman 14,6 ha. En este sector se ubican los cultivos actualmente activos que son cerca de 9,6 ha.
- Curaña: El área identificada con antiguas eras de cultivo es cercana a las 2,5 ha. Además se detectó una tubería de riego que regaba 50 ha en la zona de Valle Verde después de recorrer aproximadamente unos 22 Km la cual se dejo de usar después que fue cortada en un tramo de unos 100 metros por las aguas de la crecida de una quebrada que la cruza.

En total las áreas de riego estimada suma 28,4 ha de las cuales solo se utilizan actualmente 9,6 ha.

# 4. IDENTIFICACIÓN y Evaluación de ALTERNATIVAS preliminares

## *4.1. SITIOS DE EMBALSE*

En el presente capítulo, se presentan las labores relativas a la identificación y evaluación, técnico económica simplificada, de los posibles sitios de embalse en la Quebrada de Aroma,

con el fin de escoger y proponer los tres emplazamientos más adecuados que serán estudiados a nivel de Prefactibilidad en las siguientes etapas de la consultoría.
La evaluación técnico económica simplificada tiene que ver con que no es posible aún determinar la rentabilidad del proyecto porque no están estudiados los beneficios, los cuales serán determinados en una siguiente etapa del estudio, pero sí es posible efectuar prediseños simplificados y determinar sus costos aproximados, además de evaluar otros aspectos técnicos que pueden incidir en la elección de los sitios.
La identificación tiene relación con el análisis de las características de cada uno de los sitios, en relación a diferentes aspectos que influyen en la decisión de selección y la evaluación, corresponde a una comparación económica de costos, así como la comparación de otros aspectos técnicos, que permiten efectuar la selección, ya que los beneficios son similares para los sitios de embalse.
Preliminarmente, se identificaron tres sitios de embalse denominados como alternativa ALT1, ALT2 y ALT3. La alternativa ALT1 corresponde al sitio de presa propuesto por la Comisión Nacional de Riego y es la que se ubica más aguas arriba en la quebrada, donde comienza el estrechamiento del valle en el sector de Misticsa.
Las alternativas 2 y 3 fueron incluidas como parte de la evaluación del presente proyecto, y fueron seleccionadas a partir de las visitas de terreno realizadas durante los meses de Enero y Febrero de 2013.
Cabe señalar que estos posibles emplazamientos de presa están acotados entre el sector de Misticsa y Pailca por las siguientes razones:

- **Aguas Arriba,** se encuentra el Parque Nacional Isluga el cual tiene como límite occidental la quebrada de Sapte que se une a la de Aroma a unos 3 kilómetros de la alterativa ALT1.

- **Aguas Abajo,** se encuentra el sector de Pailca, que corresponde al primer sector se riego que se beneficiaría con el proyecto de embalse a unos 4,8 Km de la alternativa ALT3. Además hay presencia de sitios arqueológicos los cuales están protegidos por la ley 17.288 y por ende no pueden ser alterados.

Entre el sitio ALT3 y el sector de Pailca, la ladera derecha de la angostura no presenta las condiciones necesarias para apoyar algún tipo de muro de acuerdo a la inspección realizada en terreno y además existe la presencia de grandes rodados en la caja del río. Posteriormente el valle se ensancha y la pendiente aumenta lo que descarta el sector para un posible emplazamiento de embalse.
Adicionalmente, en esta etapa se incluye el antiguo sitio propuesto por el Ministerio de Obras Públicas en el año 1930, denominado para efectos del presente estudio como Alternativa ALT4 y un sitio propuesto e inspeccionado por el geólogo Don Arturo Hauser ubicado aguas arriba de la alternativa ALT1 en pleno sector de Misticsa denominado como Alternativa ALT5.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

A priori la alternativa ALT4 tiene una gran limitante debido a la presencia de petroglifos en su tasa de inundación por lo cual sería descartada, en tanto la alternativa 5 presenta desventajas sobre las demás alternativas en cuanto a su tamaño de muro.
En la Figura 4.1-1, se indica la ubicación de las alternativas a analizar, las que se denominaron de la siguiente forma:

- ALT1: a unos 3,45 Km aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte.
- ALT2: a unos 3,9 Km. aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte
- ALT3: a unos 4,1 Km. aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte
- ALT4: a unos 12,9 Km. aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte
- ALT5: a unos 2,1 Km. aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte

Las alternativas se presentan adicionalmente en el Plano GNA-PTN-01.
Se realizaron las inspecciones necesarias para elaborar los diseños simplificados de la presa en los emplazamientos identificados. Estas inspecciones, consistieron básicamente en la visita de ingenieros especialistas, ambientales, geólogos, arqueólogos y geotécnicos, cuyos informes permitieron completar los antecedentes para la selección del sitio. La información anterior se complementó con los catastros de infraestructura realizados para éste estudio y con la topografía proporcionada por el Modelo Digital e Elevación Satelital (DEM) del sensor ASTER, con el fin de analizar de manera anticipada la situación de los sitios, sin tener que esperar los planos de la restitución y la topografía.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 4.1-1
## IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE EMBALSE




Fuente: Elaboración propia, a partir de Google Earth

Entre los antecedentes obtenidos, se destacan la definición de las curvas características para cada sitio, el volumen embalsado y necesario para cada presa, el área de inundación, un informe arqueológico, una inspección geológica, una inspección geotécnica y la recopilación de los antecedentes ambientales relacionados.

De este modo, se realizaron los diseños simplificados de la presa en cada alternativa de emplazamiento y se determinó su costo de construcción. Por tratarse de un análisis comparativo, no se incluyeron aquellos costos menores que son equivalentes para las alternativas.

Con los costos y análisis de los demás aspectos técnicos y ambientales, se realizó una comparación de los distintos proyectos, y finalmente se seleccionó y recomendó, sometiendo a consideración de la CNR, los emplazamientos más adecuados que serán estudiados a nivel de prefactibilidad, en las próximas etapas de esta consultoría.

Finalmente, las alternativas recomendadas para la continuación del estudio son ALT1, ALT2 y ALT3, debido a que la ALT4 ha sido descartada por la presencia de sitios arqueológicos en las laderas de la zona de inundación tal como lo señala el informe arqueológico y la ALT 5 no posee las características geológicas suficientes como para sostener un muro. De todas formas se realizó el análisis cuantitativo y cualitativo para las 5 alternativas.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 4.1.1. Tipo de Presa en Cada Emplazamiento

En general, el tipo de presa queda condicionado por factores técnicos de diverso tipo, a saber:

- Topografía: relación largo coronamiento vs. altura
- Geología y condiciones de fundación y apoyo
- Materiales disponibles para la construcción
- Ubicaciones y tamaño del vertedero
- Problemas sísmicos

#### 4.1.1.1. Sitio ALT1

La alternativa ALT1 está ubicado en una angostura de aproximadamente 75 m de ancho. En la caja del río se observa grava arenosa de color gris, de cantos redondeados y vegetación arbustiva de baja altura. En uno de los meandros del río se observa que el suelo erosionado por el escurrimiento corresponde a un conglomerado muy compacto.
En ambas laderas se observa el mismo conglomerado hasta media altura aproximadamente y sobre este se aprecia una roca de color rosado pálido de origen volcánico. Se estimó que en el lecho del río a poca profundidad (no más de 10 m) existe similar conglomerado. Los taludes de ambas laderas, ver Figura 4.1.1.1-1, se observan estables, sin vegetación, y sin indicios de antiguos derrumbes, aunque se aprecia una erosión importante que aporta material del tamaño de gravas y arenas hacia el río. Asimismo, no se observa agrietamientos de importancia en ambas laderas del valle.
Aguas arriba de la angostura el río se ensancha generando una zona de acumulación de embalse muy atractiva. En este sector y en zonas de conos de deyecciones existentes aguas arriba del eje de presa, se estima que existe abundante material tipo grava arenosa que se puede utilizar para construir una presa CFGD o RCC (de hormigón rodillado). Tanto el túnel de desviación como el vertedero debieran ubicarse en la ladera izquierda (sur) para que resulte más económica (menor longitud). El conglomerado que conforma la parte inferior de las laderas se aprecia muy cementado y soporta taludes verticales estables de aproximadamente 10 m de altura. En las laderas existen vestigios pequeños de grava limpias adosadas a ellas, que indican que en el pasado el lecho del río se ha ido erosionando gradualmente a medida que el terreno se ha elevado por movimientos tectónicos. No existen quebradas laterales de importancia que pudieran significar algún riesgo para la presa y sus obras anexas.
En la caja del río, Figura 4.1.1.1-2 y 4.1.1.1-3 se observan en forma aislada y semienterrados, algunos bloques del conglomerado que han caído desde las laderas del valle. Sin embargo, no se aprecia que ellos sean de procedencia local y es probable que hayan sido arrastrados por el agua desde zonas ubicadas aguas arriba.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 4.1.1.1-1
## LADERA SUR DEL SITIO ALT1 DE PRESA



Se observa un talud casi vertical de conglomerado que es sobreyacido por roca de color rosado pálido. Se observa la interfase entre ambos materiales que se inclina gradualmente hacia aguas abajo. Se aprecia escasa acumulación de material al pie del talud
Fuente: GEOFUN

## FIGURA 4.1.1.1-2
## CAJA RÍO DEL SITIO ALT1 DE PRESA




Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se observa pared de conglomerado en la caja del río con aspecto de hormigón natural (muy cementado). Se estima que este conglomerado conforma el cauce del río a poca profundidad
Fuente: GEOFUN


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.1.1.1-3**
**HACIA AGUAS ABAJO DEL SITIO ALT1 DE PRESA**



Se observan algunos bloques aislados en la caja del río y en la ladera izquierda restos de antiguo lecho del río a mayor cota que la actual (levantamiento tectónico)
Fuente: GEOFUN

## 4.1.1.2. Sitio ALT2

El sitio de presa ALT2, Figura 4.1.1.2-1, está ubicado a unos 380 m aguas abajo del sitio ALT1 y la angostura tiene un ancho de aproximadamente 45 m. En el lecho del río se observa grava arenosa y una mayor cantidad de bloques sueltos de conglomerado, probablemente arrastrados por el agua hasta este sector más angosto del río. Asimismo se observa algo de vegetación arbustiva sólo en el lecho del río. Las laderas del valle no tienen vegetación y son muy similares a las del sitio ALT1, pero con una definición menos clara entre el conglomerado y la roca de color rosado pálido.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.1.1.2-1**
**DESDE AGUAS ARRIBA DEL SITIO ALT2 DE PRESA**



Se observa que la angostura es de menor ancho que el sitio ALT1. Se aprecia una mayor cantidad de bloques sueltos de conglomerado en la caja del río. Escasa vegetación. En ladera izquierda restos de una probable obstrucción (taco) en la angostura.
Fuente: GEOFUN

La impresión que se tiene al observar el valle es que la interfase entre el conglomerado y la roca volcánica adopta una forma curva que penetra gradualmente en el lecho del río. La ladera derecha del valle (norte) cambia a un color gris oscuro y se observa con un talud muy abrupto, tal como se muestra en la Figura 4.1.1.2-2

Tanto el túnel de desviación como el vertedero de crecidas deben ser ubicados en el estribo izquierdo (sur) para conseguir la menor longitud. Figura 4.1.1.2-3.

En relación a material de empréstito, son válidas las consideraciones hechas para el sitio ALT1 ya que ambos sitios están cerca entre sí.

Análogamente, en el sitio ALT2 se estima que es factible construir una presa CFGD o RCC. En el sitio de presa no se observaron factores de riesgo tales como derrumbes, taludes inestables ni empalmes con quebradas de gran aporte.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.1.1.2-2**
**LADERA DERECHA DEL SITIO ALT2 DE PRESA**



Se observa roca de color gris oscuro con talud muy abrupto. En el lecho existencia de bloques de conglomerado y de roca volcánica, que provienen de sectores de aguas arriba.
Fuente: GEOFUN

**FIGURA 4.1.1.2-3**
**LADERA IZQUIERDA DEL SITIO ALT2 DE PRESA**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl



Se observa roca volcánica de color rosado pálido con restos de antiguo lecho del río (o taco). En la parte inferior conglomerado.
Fuente: GEOFUN

### 4.1.1.3. Sitio ALT3

El sitio de presa ALT3, que se muestra en la Figura 4.1.1.3-1, se ubica a unos 180 m aguas abajo del sitio ALT2 en una angostura de 25 m de ancho aproximadamente. En el lecho del río se observa abundantes bloques sueltos de conglomerado y roca volcánica de color rosado pálido y muy poca vegetación (ver Figura 4.1.1.3-2). Ambas laderas corresponden a roca volcánica de color rosado pálido, cubierta parcialmente con sedimentos de la misma roca provenientes de zonas de mayor cota.

La parte superior de la ladera izquierda (sur) se observa muy agrietada e inestable. Se presume que los bloques de color rosado que existen en el lecho del río se originaron en este sector del valle. Se estima factible construir una presa CFGD o RCC.

Debido a las características antes mencionadas esta angostura, parece ser menos conveniente que las alternativas ALT1 y ALT2.

**FIGURA 4.1.1.3-1**
**SITIO ALT3 DE PRESA**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl



Se observa gran cantidad de bloques sueltos en el lecho del río (de conglomerado y roca volcánica). La parte superior de la ladera izquierda se aprecia muy agrietada e inestable.
Fuente: GEOFUN

**FIGURA 4.1.1.3-2**
**BLOQUES SUELTOS SITIO ALT3 DE PRESA**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl



Otra vista de los bloques sueltos existentes en el sitio de presa ALT3.
Fuente: GEOFUN

### 4.1.1.4. Sitio ALT4

El sitio de presa del antiguo proyecto del MOP está ubicado en una angostura de aproximadamente 160 m de ancho tal como se muestra en la Figura 4.1.1.4-1. Ambas laderas corresponden a roca volcánica (granito) sobreyacida por roca volcánica de color rosado claro, algo agrietada (Figura 4.1.1.4-2). Se observa escasa vegetación en el lecho del río y superficialmente corresponde a grava arenosa limpia.

Este sector de la caja del río se aprecia de muy buena calidad para ser utilizado como yacimiento de grava por lo que es factible la construcción de un muro tipo CFGD.

En la ladera norte del valle se observan abundantes petroglifos sobre caras lisas de la roca de color rosado pálido, realizados por habitantes precolombinos de la zona. Por esta razón arqueológica, no es posible construir una presa en este sitio.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.1.1.4-1**
**SITIO ALT4 DE PRESA**



Se observa abundante grava arenosa en el lecho del río. Ladera izquierda de roca volcánica de color rosado pálido.
Fuente: GEOFUN

**FIGURA 4.1.1.4-2**
**SITIO ALT4 DE PRESA**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl



Se observa roca volcánica que es sobreyacida por roca de color rosado pálido
Fuente: GEOFUN

### 4.1.1.5. Sitio ALT5

El sitio de presa ALT5 se ubica a unos 1.100 m aguas arriba del sitio ALT1. Presenta, a primera vista, favorables rasgos morfológicos para albergar una presa tal como se aprecia en la Figura 4.1.1.5-1.

Sus laderas corresponden a remanentes de terrazas marginales fluviales a fluvioaluviales integradas, exclusivamente, por bancos alternantes, dispuestos subhorizontalmente, de ripios y gravas, con ocasionales bancos lenticulares arenosos a areno limosos; globalmente involucran sedimentos semiconsolidados, muy porosos y permeables; por tanto con dudoso comportamiento como estribo o apoyo de una presa.

E túnel de desviación debe ser ubicado en la ladera derecha (norte) mientras que el vertedero de crecidas debe ser ubicado en el estribo izquierdo (sur) para conseguir la menor longitud.

En relación a material de empréstito, son válidas las consideraciones hechas para el sitio ALT1 ya que ambos sitios están cerca entre sí. Se estima que es factible construir una presa CFGD.

**FIGURA 4.1.1.5-1**
**SITIO ALT5 DE PRESA**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl



Se observa estrechamiento formado por terrazas fluvioaluviales roca de colores grises a claros
Fuente: GEOFUN

### 4.1.2. Elección del Tipo de Presa

Dadas las características y antecedentes indicados anteriormente se analizó para la elección de la mejor alternativa de emplazamiento una presa tipo CFGD en los sitios ALT1, ALT4 y ALT5 mientras que en los sitios ALT2 y ALT3 una presa tipo RCC.

## *4.2. ANáLISIS DE ASPECTOS ARQUEOLÓGICOS*

El área general de estudio fue recorrida de manera no exhaustiva, dado que se trata de un estudio a nivel de perfil. Las áreas de Proyecto fueron objeto de una prospección arqueológica superficial durante los días 8 a 10 de abril de 2013, por parte de la arqueóloga Nuriluz Hermosilla. La ubicación espacial de los puntos de interés se realizó mediante GPS, coordenadas en datum WGS 84.

El informe detallado se adjunta en el Anexo 4-1. Dada la ubicación de las alternativas de embalse analizadas se revisaron dos sectores, el primero ubicado entre Ariquilda y Cala Cala, que incluye la ALT4, y el segundo en Misticsa donde se ubican el resto de los sitios de emplazamiento. A continuación se resumen los aspectos más relevantes.

- En la alternativa revisada por el MOP en 1930 (ALT4), se ubica un importante sitio arqueológico de petroglifos, reconocido como Ariquilda 1, por lo tanto **debe descartarse definitivamente como ubicación para el Embalse**.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- La prospección preliminar del terreno destinado a embalse y accesos para el Embalse Pintanane (ALT1, ALT2, ALt3 y ALT5), permitió detectar al menos 8 sitios o áreas de interés patrimonial. Se trata fundamentalmente de recintos pircados relacionados con el pastoreo y sitios habitacionales en terrazas fluviolacustres. Los sitios arqueológicos 1, 7 y 8 aparentemente están fuera del área de muro o llenado del embalse y no interfieren con el proyecto, pero deben preservarse de caminos y otras intervenciones de proyecto.

- Los sitios 3 y 4 son de tipo habitacional, sin estructuras y debe revisarse que no sean alterados por la presencia del embalse. En cuanto a las terrazas o áreas de cultivo (Sitios 2, 5 y 6), no puede descartarse su uso anterior al presente.

Dadas estas circunstancias, consideramos que se requiere de una prospección exhaustiva total del área, superponiendo el proyecto definitivo antes de determinar el verdadero impacto del Proyecto. Eventualmente, debe hacerse una ampliación de línea base en algunos sitios dentro del área, para determinar el desarrollo subsuperficial de los mismos.

## *4.3. Análisis DE ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS*

### 4.3.1. Introducción

El presente acápite contiene información geológica y geotécnica de un segmento de aproximadamente 750 m de la quebrada de Aroma, ubicada en la comuna de Huara, Primera Región, involucrada en el "Estudio de Prefactibilidad Construcción del Embalse de Pintanane en Quebrada de Aroma, Comuna de Huara, Primera Región", (*en adelante*: PCEP); se trata de terrenos donde, reconocimientos previos, identificaron 5 sitios alternativos para la realización de posteriores estudios de prefactibilidad, destinados a la construcción de un embalse de riego, cuyo mandante corresponde a la Comisión Nacional de Riego del Ministerio de Agricultura, CNR, plano GEO-PTN-01**.** Uno de ellos (ALT4) **ha sido descartado por la presencia de sitios arqueológicos y por tanto no se le realizó una caracterización geológica.**

**FIGURA 4.3.1-1**
**MORFOLOGÍA ALT5**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl



Fuente: Elaboración Propia

Además, interesa consignar que durante el breve reconocimiento directo de los terrenos objeto de análisis, se visitó el eventual sitio alternativo ubicado en la quebrada de Aroma denominado alternativa 5, *ALT5*, 1.100 m aguas arriba de la ALT1; se trataba de un singular y atractivo "estrechamiento" visualizado en imágenes satelitales GOOGLE, (fuera del alcance de **Plano GEO-PTN-01)**, cuya configuración morfológica lo transformaba en un potencial sitio alternativo para el PCEP. (Ver Figura 4.3.1-1).

Si bien la visita directa al terreno permitió confirmar los favorables rasgos morfológicos del sector para albergar una presa, el adverso carácter y comportamiento geotécnico e hidrogeológico de materiales de ambos apoyos o estribos, sustentaron su descarte definitivo; básicamente, se trata de remanentes de terrazas marginales fluviales a fluvioaluviales integradas, exclusivamente, por bancos alternantes, dispuestos subhorizontalmente, de ripios y gravas, con ocasionales bancos lenticulares arenosos a areno limosos; globalmente involucran sedimentos semiconsolidados, muy porosos y permeables; por tanto con dudoso comportamiento como estribo o apoyo de una presa.

Las actividades involucradas en el reconocimiento directo del terreno, se efectuaron el día 13 de marzo del año 2013; en ellas, junto al autor participó el Sr. Richard Carvajal G, de ARRAU Ingeniería EIRL.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El acceso directo a cada uno de los 4 sitios objeto de reconocimientos, se materializó mediante un segmento asfaltado del camino A – 455, de aproximadamente 35 km (cuyo punto de origen se ubica en la Ruta 5 Norte, 15 km al Norte de la ciudad de Huara); a partir de este punto, se accede a la zona objeto de estudio, mediante un camino de tierra (Ruta A-459) de aproximadamente 22 km, (*)[14].

El acceso final a los sitios se realiza de a pié, mediante rústicos senderos desarrollados a la largo de la llanura de inundación de la quebrada de Aroma, incluyendo forzados cruces de su actual cauce.

De acuerdo a registros testimoniales de lugareños con larga data de residencia en los sectores de Ariquilda, Pintanane, Misticsa y Chiape de la quebrada de Aroma, en su momento, las actividades económicas a lo largo de importantes segmentos de la llanura de inundación de la quebrada de Aroma, fueron objeto de efectivo aprovechamiento para el cultivo de maíz, hortalizas y alfalfa, junto a la crianza de animales domésticos: caprinos y camélidos.

El recurrente desarrollo de incontroladas crecidas torrenciales en la quebrada de Aroma, expresado en daños en la agricultura local, obligó a numerosas comunidades establecidas a hacer gradual y sostenido abandono de la zona. De acuerdo a ello, en la actualidad, gran parte de los primitivos asentamientos humanos y sus respectivos terrenos, son objeto de un precario uso y aprovechamiento; esta situación responde al recurrente efecto combinado de actividad erosiva y depositacional asociada a crecidas inducidas por el "invierno boliviano"; se expresa tanto en la eliminación de gran parte de la cobertura de suelo superficial fértil y/o depositación de potentes mantos de bolones, ripios y gravas, cuyo actual nivel de "pedregosidad" superficial, limita el efectivo aprovechamiento agrícola de los suelos.

Esta condición le otorga al terreno local un carácter degradado y ruinoso, donde la carencia de una efectiva cobertura vegetacional, acentúa la aridez impuesta por la propia condición y comportamiento climático regional.

El señalado carácter, incentivó la necesidad de realizar estudios destinados a definir la posibilidad de generar un mejoramiento integral del regadío del valle a nivel predial, de acuerdo a soluciones de óptimo aprovechamiento del recurso hídrico, sustentadas en la eventual futura materialización de efectivas estructuras de almacenamiento; se trata de embalses destinados a acumular los volúmenes excedentarios de aguas en los períodos de abundancia, asociadas al "invierno boliviano" (diciembre a febrero) para ser racionalmente utilizados durante los meses de mayor escasez, (marzo a noviembre) a través de efectivos sistemas de distribución (canales).

De acuerdo a las consideraciones que anteceden, el presente estudio tiene los alcances correspondientes a un reconocimiento geológico – geotécnico de superficie para un proyecto de prefactibilidad de riego, con un aceptable grado de definición.

[14] (*) Este camino, tras sobrepasar los sectores de Ariquilda, Misticsa, Pintatane, Chiapa y Sotoca, se conecta en torno a la localidad de Chusmiza, con el camino internacional Huara – Colchane, Ruta 15, de acceso a la frontera con la República de Bolivia.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Consecuentemente, su objetivo fundamental se centró en la necesidad de precisar los ambientes y características geológicas y comportamientos geotécnicos globales de los terrenos comprometidos por el Proyecto, para el emplazamiento final de una presa de un embalse de riego y las respectivas obras anexas e instalaciones, que se planteen en el Proyecto.

Ello supone detectar o establecer los principales problemas geotécnicos que pueden presentarse en las soluciones recomendadas y lo mismo en relación con aquellas objetadas o descartadas, con indicación, además, de programas de futuras actividades de exploración, necesarias para una posterior y última etapa de diseño óptimo, propio de la decisión de ponerlo en marcha.

En lo específico, el presente estudio pretende cubrir entre otros los siguientes objetivos:

- Identificar, delimitar y caracterizar geológica y geotécnicamente todas las unidades de suelos y rocas que participan del territorio involucrado en las obras civiles del PCEP; con énfasis en los terrenos de fundación directa del muro, respectivos apoyos o estribos y obras anexas (estructuras de desviación y vertedero).

- Caracterizar la situación tectónica del sector, en términos de la actitud espacial dominante (rumbo e inclinaciones de estratos), carácter estructural (fallas, fracturas, estratificación, plegamientos) y evaluación de riesgos geológicos, correspondientes a materias que resultan relevantes para la selección de la alternativa del sitio más favorable para la implantación de la presa y posterior diseño definitivo de las obras.

- Examinar las condiciones hidrogeológicas locales de los materiales (suelos y rocas), en cuanto a sus implicancias respecto del Proyecto, (fondo y laderas de apoyo).

- Identificar y discutir los riesgos geológicos activos, en situación de comprometer las obras del Proyecto, tanto durante las futuras fases constructivas, como vida operacional, con énfasis en procesos de remociones en masa.

- Generar información respecto de la existencia, a distancias económicas convenientes, de materiales de empréstito y áridos (ripios, gravas y arenas) y/o enrocados, para satisfacer las futuras demandas vinculadas a las obras del Proyecto.

- Proponer programas de prospecciones geotécnicas, mecánica de suelos y/o rocas, destinadas a la generación de parámetros básicos a ser incluidos en el diseño final de las obras civiles del Proyecto.

Al momento, con la escasa información disponible, para la presa del Proyecto de embalse Pintanane se consigna una estructura con alturas en el rango 40 a 45 m, y capacidades de almacenamiento de 15 a 20 millones de $m^3$, construidas a base de hormigón rodillado o de grava con pared moldeada (CFGD).

La representación cartográfica de toda la información obtenida durante los recientes reconocimientos directos del terreno se presentan, para las 3 alternativas objeto de análisis,


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

en un fotomosaico, sin curvas de nivel, sustentado en imágenes satelitales extraídas de GOOGLE Earth, a escala 1:2.000, correspondiente a la plano GEO-PTN-01.
La información referencial de alcance regional, para la realización del estudio consignó, muy principalmente ***Pacci*** et al (1980), complementada con ***SERNAGEOMIN*** (2002) y ***Garcia*** et al (2004).

### 4.3.2. Marco Morfológico

El segmento de la quebrada de Aroma objeto de estudio, correspondiente al sector de Pintanane – Misticsa, involucrado en el emplazamiento de las 3 alternativas de presas y sus correspondientes cubetas de inundación y obras anexas, se ubican en el territorio de la comuna de Huara, Primera Región de Atacama.
Esencialmente, se enmarca en un segmento semimontañoso de la zona preandina de la Cordillera de Los Andes; incluye un extenso plano inclinado hacia el occidente, disectado por numerosas, profundas y rectilíneas quebradas fuertemente erosionados por actividad fluvial a fluvioaluvial (que aún prosigue), ocurrida a partir del inicio del Pleistoceno (últimos 1,6 millones a 10.000 mil años antes del presente); las cabeceras de las respectivas hoyas hidrográficas están conformadas, dominantemente, por materiales de origen volcánicos (flujos lávicos, brechas, aglomerados, tobas e ignimbritas).
En la medida del avance hacia el occidente, los relieves andinos, demuestran un constante y suave descenso en altura, hasta alcanzar la elongada zona depresionaria de la Pampa del Tamarugal. Anualmente, las aguas vertidas a esta enorme cubeta receptora, (originadas durante el "invierto boliviano"), contribuyen decisivamente a recargar las napas freáticas allí albergadas.
La quebrada de Aroma incluye una profunda incisión rectilínea provista de empinadas laderas inestables labradas, dominantemente, en rocas sedimentarias continentales, provistas de un moderado grado de meteorización y fracturamiento.
En la zona objeto de estudio, ubicada a cotas de 1850 a 1.890 m.s.n.m, la sección basal de la quebrada de Aroma incorpora una llanura de inundación con ancho muy variable, donde el actual cauce desarrolla una trayectoria sinuosa, pobremente establecido entre incipientes y mal conservadas terrazas marginales bajas, juveniles o modernas, (fluviales, fluvioaluviales y fluviolacustres), discontinuamente enmantadas por depósitos distales de amplios conos de deyección.
Hacia ambos márgenes de la quebrada de Aroma, vierten numerosas quebradas secundarias menores de escasa trayectoria, sometidas a recurrentes flujos aluviales, que descargan sus voluminosas "cargas" detríticas, hacia su llanura de inundación; se trata de procesos de remociones en masa, enmarcados en la categorización de flujos detríticos, que se activan en respuesta a súbitos episodios pluviales de gran intensidad y corta duración, gatillados durante el "invierno boliviano"; al descargar hacia la llanura de inundación de la quebrada principal de Aroma, suelen provocar recurrentes y severos daños focalizados respecto de estructuras lineales (caminos y canales) y terrenos agrícolas.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La sección basal de ambas laderas, en el valle de la quebrada de Aroma, incorpora discontinuos remanentes mal conservados de elongadas terrazas marginales fluviales a fluvioaluviales que culminan a alturas de sólo 3,5 a 34,0 m, sobre la cota normal del espejo de agua en su cauce.

En la llanura de inundación de la quebrada de Aroma, las aguas escurren a lo largo de un cauce provisto de escaso confinamiento marginal, controlado por depósitos granulares sueltos, erosionables, que participan de remanentes mal conservados de terrazas fluviales a fluvioaluviales bajas o "modernas". Esta condición se expresa en cauces divagantes, mal establecidos, que facilitan el desarrollo de tramas entrecruzadas o meándricas, cauces abandonados e "isletas temporales".

Localmente, por un tramo de aproximadamente 6 km, a partir de aguas arriba de la ALT1, el fondo del valle de la quebrada de Aroma, incrementa substancialmente su ancho, alcanzando un promedio de 150 a 180 m; conforme a ello, en este sector, el actual cauce de la quebrada escurre divagante en una amplia llanura de inundación, cuyo confinamiento está controlado por elongados remanentes de terrazas marginales bajas o modernas de tipo lacustre a fluviolacustres; esencialmente se trata de estructuras morfológicas constituidas por bancos alternantes finos, arenosos a limo arcillosos, dispuestos horizontalmente, vinculados a mecanismos depositacionales en ambientes de aguas tranquilas.

### 4.3.3. Marco Geológico Local

Contrariamente a lo supuesto, la información geológica referencial de la zona objeto de estudio, es muy escasa. Al respecto el único levantamiento a nivel de geología regional disponible de la Primera Región de Tarapacá, corresponde a un levantamiento preliminar inédito, escala 1:250.000, realizado por ***Pacci***, et al (1980), plano GEO-PTN-01.

El análisis de la información geológica contenida en el señalado documento, complementado con la revisión de imágenes satelitales de la zona y los antecedentes obtenidos durante los breves reconocimientos directos efectuados en el propio terreno, permitieron la identificaron, delimitaron y caracterizaron geológicamente (litología y granulometría) de las siguientes unidades:

#### 4.3.3.1. Suelos o depósitos no consolidados.

**a) Consideraciones previas.**

Los sedimentos no consolidados incluyen todos aquellos materiales originados durante el Cuaternario y que, normalmente, se presentan como cubiertas bastante sueltas, discontinuamente dispuestas con espesores muy variables, sobre rocas fundamentales; se asume que las cabeceras del primitivo valle de la quebrada de Aroma, concordante con terrenos francamente andinos, habrían logrado su mayor grado de profundización y modelamiento por actividad glacial, quedando posteriormente rellenado por importantes espesores de acarreos torrenciales de gran energía de tipo fluvial y fluvioaluviales, intercalados con episodios aerotransportados o eólicos (cenizas o lapilli volcánicas) y


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

gravitacionales o de remociones en masa (desprendimientos, deslizamientos, flujos de barro y/o detritos).

En relación con reconocimientos de superficie asociados a proyectos de obras civiles, la aplicación de criterios morfológicos y litológicos (tipología de los materiales, compacidad, espesor y pendiente), permite identificar, delimitar y caracterizar "*unidades geológicas*" de depósitos no consolidados u suelos; se asume que cada "unidad" corresponde a una entidad areal bien marcada, que condiciona una cierta homogeneidad tanto en relación con sus respectivos atributos geológicos, como en sus propiedades y comportamientos geotécnicos.

**b) Depósitos aluviales o flujos detríticos de quebradas marginales de la quebrada de Aroma, Qfd, en plano GEO-PTN-01.**

Corresponden a depósitos granulares macizos, sueltos que, en torno al sitio de la ALT2, participan de 2 estrechas y profundas quebradas marginales que, desde la vertiente derecha descargan a la llanura de inundación de la quebrada de Aroma, plano GEO-PTN-01.

El término "*flujo detrítico"*, (***Hauser***, 2000), se aplica a remociones en masa que incluyen materiales granulares incoherentes, constituidos por fragmentos rocosos saturados, que fluyen rápidamente a favor de la pendiente local por acción gravitacional, confinados a lo largo de cauces preexistentes; debido a las elevadas concentraciones y escasa selección de los materiales granulares sólidos, este tipo de flujos exhiben altas resistencias al corte y viscosidades. Estas propiedades les otorgan a los flujos elevadas capacidades para transportar en suspensión bloques rocosos de gran tamaño. Normalmente, en sus desplazamientos ladera abajo, adquieren considerables energías destructoras, carácter pulsátil y gran movilidad; ello les permite desplazarse por grandes distancias desde sus respectivos puntos de origen.

En la zona objeto de estudio, el principal agente desencadenante de los flujos detríticos corresponde al agua de escurrimiento superficial, vinculado a ciclos pluviales de gran intensidad, concentrados durante el denominado "invierno boliviano", (meses de diciembre a marzo).

Las variables que controlan el origen y magnitud de los flujos detríticos incluyen: superficie de la hoya de drenaje, perfil hidráulico de los cauces de descarga, suministro o disponibilidad de detritos o materiales fragmentales sueltos y condición climática local. Normalmente, los principales aportes provienen de los segmentos apicales o superiores de extensos abanicos de escombreras de ladera de cerro, ubicados inmediatamente bajo amplios y abruptos afloramientos rocosos (cornisas o farellones), intensamente fracturados. Una vez activadas, en la medida del avance ladera abajo, las fracciones detríticas iniciales encauzadas a lo largo de bien confinadas secciones de porteo, experimentan constantes reducciones de forma y tamaño.

Los depósitos resultantes configuran complejos acopios macizos a pobremente estratificados, integrados por complejas mezclas caóticas de materiales granulares correspondientes, dominantemente, a fracciones del tipo ripios y gravas, sueltas, con escasas gravillas y arenas, absolutamente carentes de finos cohesivos, acompañadas de frecuentes


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

bloques rocosos de diversa forma y tamaño y composición (volcánicos, volcanoclásticos y sedimentarios), densos, inalterados, muy resistentes.
Se trata de depósitos inconsolidados, muy porosos y permeables; que desarrollan elevadas ripabilidades (excavables con equipo mecanizado).

**c) Depósitos gravitacionales: desprendimientos y avalanchas de bloques rocosos, indiferenciados, Qg, en plano GEO-PTN-01.**

Tanto en el segmento de 750 m de la quebrada de Aroma directamente comprometida en el estudio, como en su entorno inmediato, la interacción de factores condicionantes de tipo morfológico (laderas con fuerte pendiente), carácter geológico, estructural (grado de fracturamiento), geotécnico (meteorización y resistencia superficial) y desencadenantes (ciclos pluviales de intensidad extrema y/o solicitaciones sísmicas), han favorecido al permanente desarrollo de procesos gravitacionales enmarcados en la tipología de desprendimientos y avalanchas de bloques rocosos.
Originados en las secciones superiores de ambas vertientes de la quebrada de Aroma, los elementos clásticos liberados a partir de empinadas paredes rocosas, correspondientes a materiales asignados a las formaciones Azapa y Oxaya, ***Oa*** y ***OMo***, respectivamente, en **plano GEO-PTN-01,** se desplazan ladera abajo, reduciendo gradualmente sus tamaños originales por sucesivos impactos, hasta alcanzar la llanura de inundación. Los depósitos alcanzan mayor desarrollo en torno al sitio de las alterativas ALT2 y ALT3, plano GEO-PTN-01.
Los depósitos están integrados por complejas mezclas de materiales rocosos fragmentarios (ignimbríticos y conglomerádicos), sueltos de diversa forma y tamaño, tipificados como bloques angulares con tamaños máximos de 1,8 a 3,5 m y medios de 0,3 a 0,4 m, semiconsolidados, con densidades y resistencias globales medias a bajas.
En sectores puntuales, los bloques rocosos que acceden a la estrecha llanura de inundación, configuran verdaderos "*campos de bloques*" sueltos que obstaculizan el normal escurrimiento de las aguas de la quebrada de Aroma, a lo largo de su cauce preestablecido; en cambio, cuando están dispuestos sobre laderas provistas de moderada pendiente local, algunos bloques métricos sueltos pueden permanecer en situación de equilibrio crítico, inestable; en esta condición presentan elevada susceptibilidad al desarrollo de reactivaciones, gatilladas por episodios pluviales de intensidad extrema y/o solicitaciones sísmicas.

**d) Depósitos de laderas de cerro o coluviales, indiferenciados, Qe, en plano GEO-PTN-01.**

Las configuraciones morfológicas asociadas a este tipo de depósitos, incluyen tanto estructuras mantiformes, como verdaderos abanicos coalescentes propios de verdaderos conos de deyección.
Tratándose básicamente de suelos granulares gravitacionales, de origen local, sueltos e inestables, alcanzan mayor desarrollo y alcance en laderas provistas de fuerte pendiente local, (25 a 40°), aproximadamente concordantes con el ángulo de reposo de materiales detríticos sueltos, **Foto 1**, en **plano GEO-PTN-01**.

**FOTO 1**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

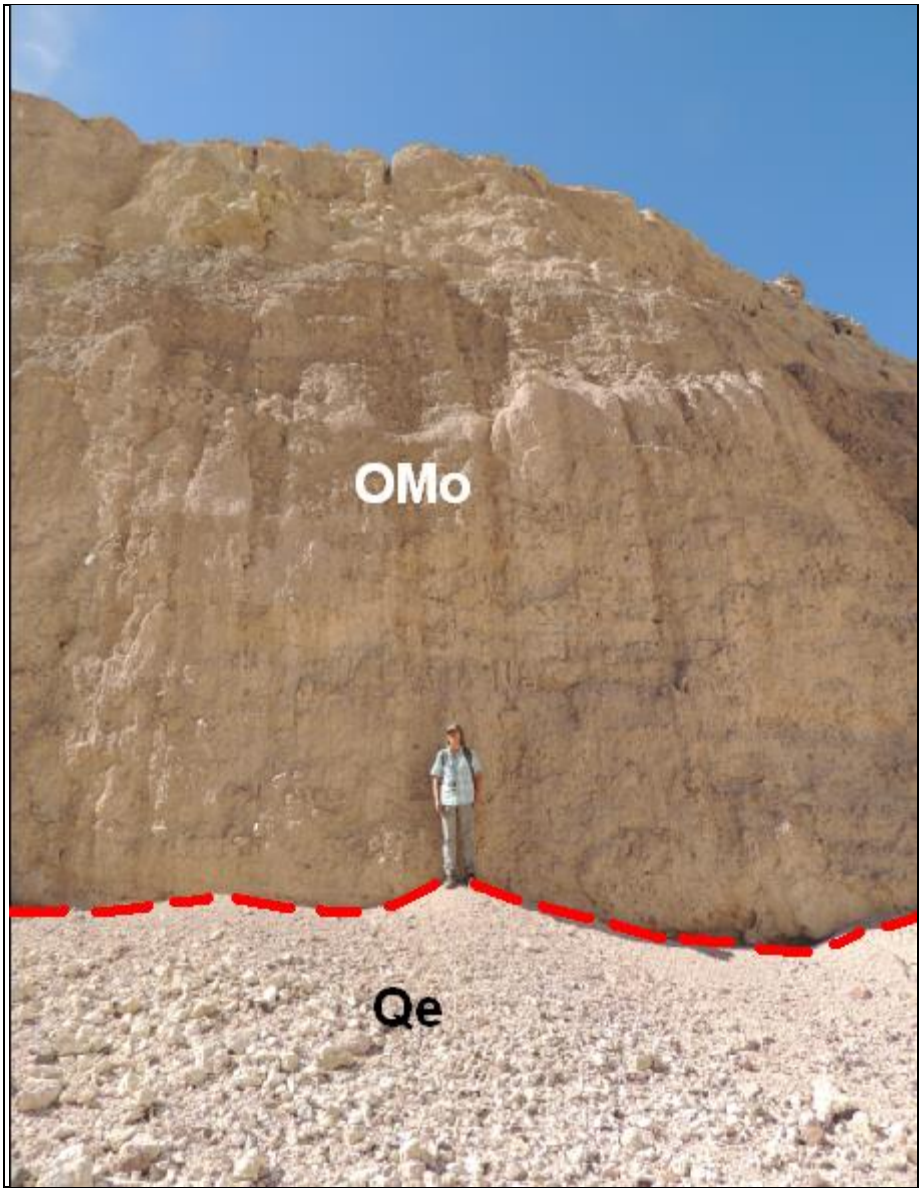



**Foto 1**. Apoyo o estribo izquierdo de ALT1; ***OMo*** = Formación Oxaya, integrada por una potente secuencia de depósitos ignimbríticos, constituida por estratos alterantes bien estratificados, dispuestos horizontalmente. El grado de litificación y ausencia de fracturamiento de los depósitos favorece el desarrollo de paredes subverticales, bastante estables. Los acopios coluviales sueltos, ***Qe***, ubicados al pié, responden a desprendimientos puntuales, inducidos por recientes episodios pluviales de intensidad extrema, asociados al "invierno boliviano".

Incluyen granulometrías medias a gruesas del tipo ripios, gravas y gravillas, con escasos finos intersticiales que, discontinuamente, enmantan y rellenan con espesores muy

variables, tanto remanentes muy erosionados de afloramientos rocosos correspondientes a sedimentos granulares (conglomerados) y/o volcanoclásticos (tobas e ignimbritas).
De acuerdo a ello, configuran masas muy inestables con elevada propensión a desarrollar reactivaciones, gatilladas por episodios pluviales de intensidad extrema; una vez puestos en acción, se expresan en recurrentes remociones del tipo flujos detríticos secos o húmedos; la normal ausencia de cobertura vegetacional y/o suelos, unida a la inmadurez de los depósitos, da cuenta de procesos históricos.
En todos los casos, sus respectivas composiciones dependen del carácter litológico de las rocas de la que proceden, estando formados por fragmentos angulosos heterométricos e inalterados. Esencialmente, se trata de depósitos con bajas capacidades de soporte, sobre todo en torno al contacto con el basamento rocoso subyacente y cuando se desarrollan altas presiones intersticiales, producto de altos niveles de precipitaciones pluviales.
En cortes viales, excavados en este tipo de depósitos, la normal ausencia de coberturas vegetales protectoras, favorece el desarrollo de adversas inestabilidades, (desde simples deformaciones superficiales, hasta desplazamientos del tipo reptación o solifluxión), gatilladas por solicitaciones sísmicas y/o episodios pluviales de gran intensidad; en algunos casos, este carácter, exige la forzada instalación de muros de contención a base de: gaviones, mampostería, cribas u hormigón estructural, destinados a controlar derrames hacia las plataformas y carpetas de rodado de las obras viales.

**d) Depósitos fluviales a fluvioaluviales de relleno del fondo de la quebrada Aroma, *Qfa*, en plano GEO-PTN-01**

El relleno del actual fondo del valle de la quebrada de Aroma, está compuesto por una compleja secuencia alternante de depósitos granulares: ripios, gravas, gravillas, arenas, con ocasionales niveles lenticulares, finamente estratificados de limos y limos arcillosos, con tonalidades blanquecinas a levemente amarillentas. Los primeros habrían respondido a mecanismos de arrastres torrenciales o aluviales a fluvioaluviales, mientras que los segundos a episodios depositacionales en ambientes con circulación restrictiva, (baja energía de transporte).
Los depósitos granulares alcanzan su mayor desarrollo y alcance áreal, inmediatamente aguas arriba del sitio de emplazamiento de la ALT1, en **plano GEO-PTN-01**, concordante con un sector donde el fondo de la quebrada de Aroma, presenta un notable incremento en ancho; en este sector, los depósitos fluviales a fluvioaluviales que rellenan su fondo, participan de remanentes mal conservados de elongadas terrazas marginales altas o "*antiguas*" de la quebrada de Aroma; mientras tanto, en el segmento de 750 m, correspondiente al lugar de emplazamiento de los 3 sitios alterativos de presas que son objeto de análisis, la presencia de los señalados rasgos morfológicos se limita a discontinuas estructuras de escaso desarrollo longitudinal y altura, concordantes con terrazas marginales bajas o "*nuevas*".
Los elementos clásticos de los depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales, son heterocomposicionales: graníticos (granitos, granodioritas, dioritas, tonalitas, monzonitas), volcánicos (andesitas, andesitas basálticas) y volcanoclásticos (brechas, aglomerados, tobas


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

e ignimbritas); indiferenciadamente, se presentan muy bien pulimentados, subredondeados a subangulosos, densos, inalterados, muy resistentes, **Plano GEO-PTN-01**.

**e) Depósitos de terrazas marginales lacustres, *Ql*, en plano GEO-PTN-01.**

A partir de aguas arriba de las inmediaciones de la zona de emplazamiento de la ALT1, **plano GEO-PTN-01**, la sección basal de la quebrada de Aroma, desarrolla un gradual y sostenido incremento; producto de ello, hacia aguas arriba, se pasa de una profunda y estrecha llanura de inundación (18 a 20 m de ancho) a una amplia estructura llana (95 a 100 m de acho). El señalado marco morfogeológico, sometido a la intensa dinámica fluvial de la quebrada de Aroma, favoreció el desarrollo de procesos depositacionales en un ambiente de circulación "tranquila" o restringida; los productos sedimentarios, están representados por elongados remanentes bastante bien conservados de terrazas marginales lacustres o fluviolacustres, cuyo coronamiento se sitúa 35 a 40 m sobre la llanura de inundación de la quebrada de Aroma, **Fotos 2** y **3**, en **plano GEO-PTN-01**.

Las señaladas estructuras están constituidas por una secuencia alternante, finamente estratificada, dispuesta horizontalmente, integrada por capas de areniscas, areniscas limosas y arcillas limosas, con tonalidades blanquecinas a amarillentas; se trata de materiales semiconsolidados, con elevada susceptibilidad a la erosión hídrica, bajas porosidades y permeabilidades, removibles con equipo mecanizado.

En su momento, los voluminosos aportes sedimentarios finos habrían provenido de actividad erosiva de materiales volcánicos (tobas e ignimbritas) radicadas en torno a numerosos activos centros volcánicos que participan de las cabeceras de la hoya hidrográfica de la quebrada de Aroma.

Normalmente, los depósitos lacustres presentan un moderado a bajo grado de litificación, compatible con una calificación de materiales ripables, esto es, cuya remoción es posible mediante el simple empleo de equipo mecanizado: bulldozers, cargadores frontales, motoniveladoras.

Los bordes expuestos de estas terrazas lacustres a fluviolacustres configuran empinadas paredes, bastante estables, **Fotos 2** y **3**, en **plano GEO-PTN-01**.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FOTO 2

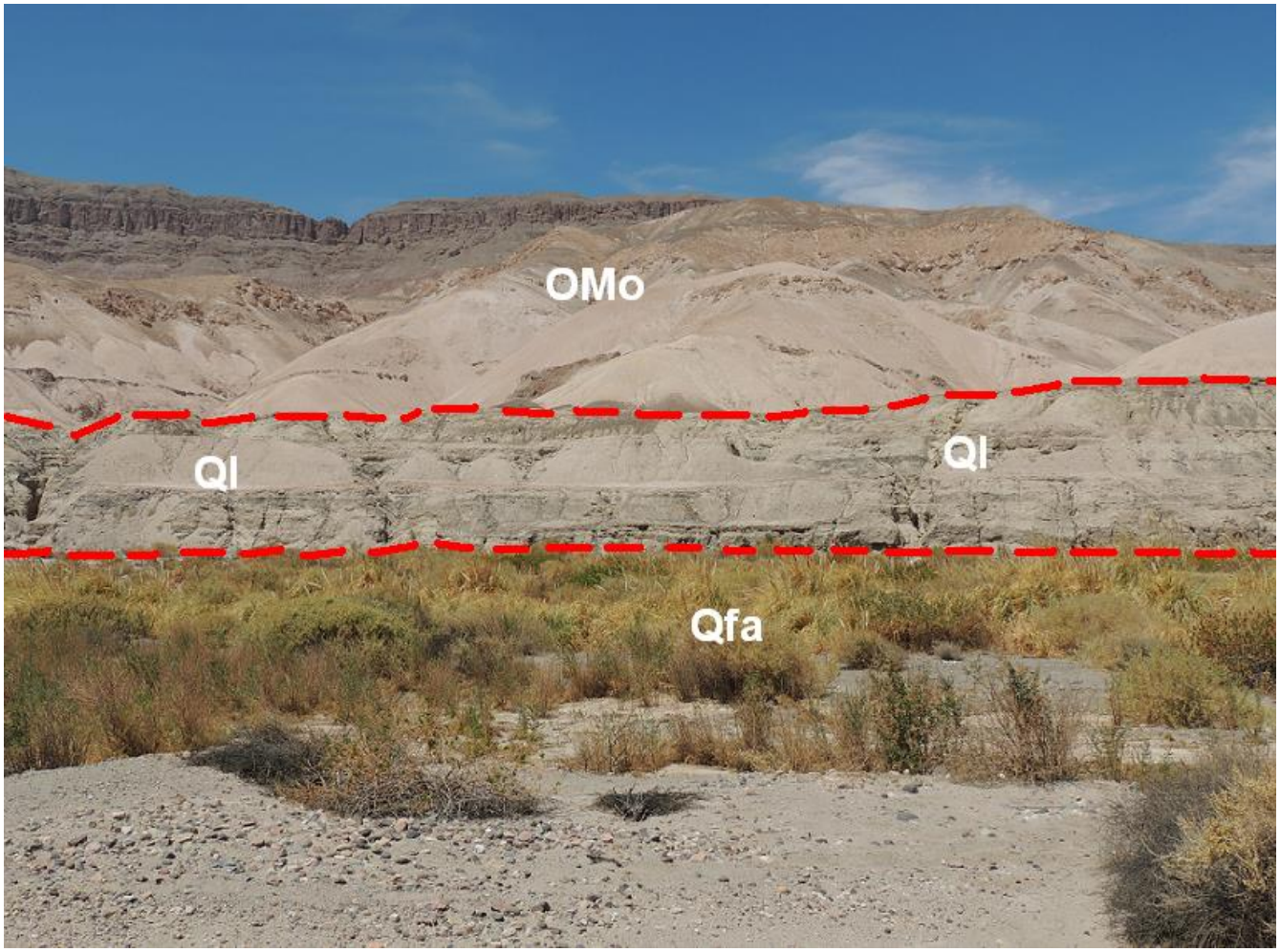



**Foto 2**.- Vertiente izquierda de la sección basal de la quebrada Aroma, 700 a 800 m aguas arriba de eje de la ALT1. Se destaca elongado remanente de terraza marginal lacustre a fluviolucustre, ***Ql***, en **Plano GEO-PTN-01**. En el sector, los señalados materiales sobreyacen a depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales, ***Qfa***, en **Plano GEO-PTN-01**, que participan de la actual amplia llanura de inundación y relleno del fondo de la quebrada de Aroma; ***OMo*** = Depósitos ignimbríticos de la formación Oxaya, correspondiente a la sección media y superior de su vertiente Sur.

**FOTO 3**

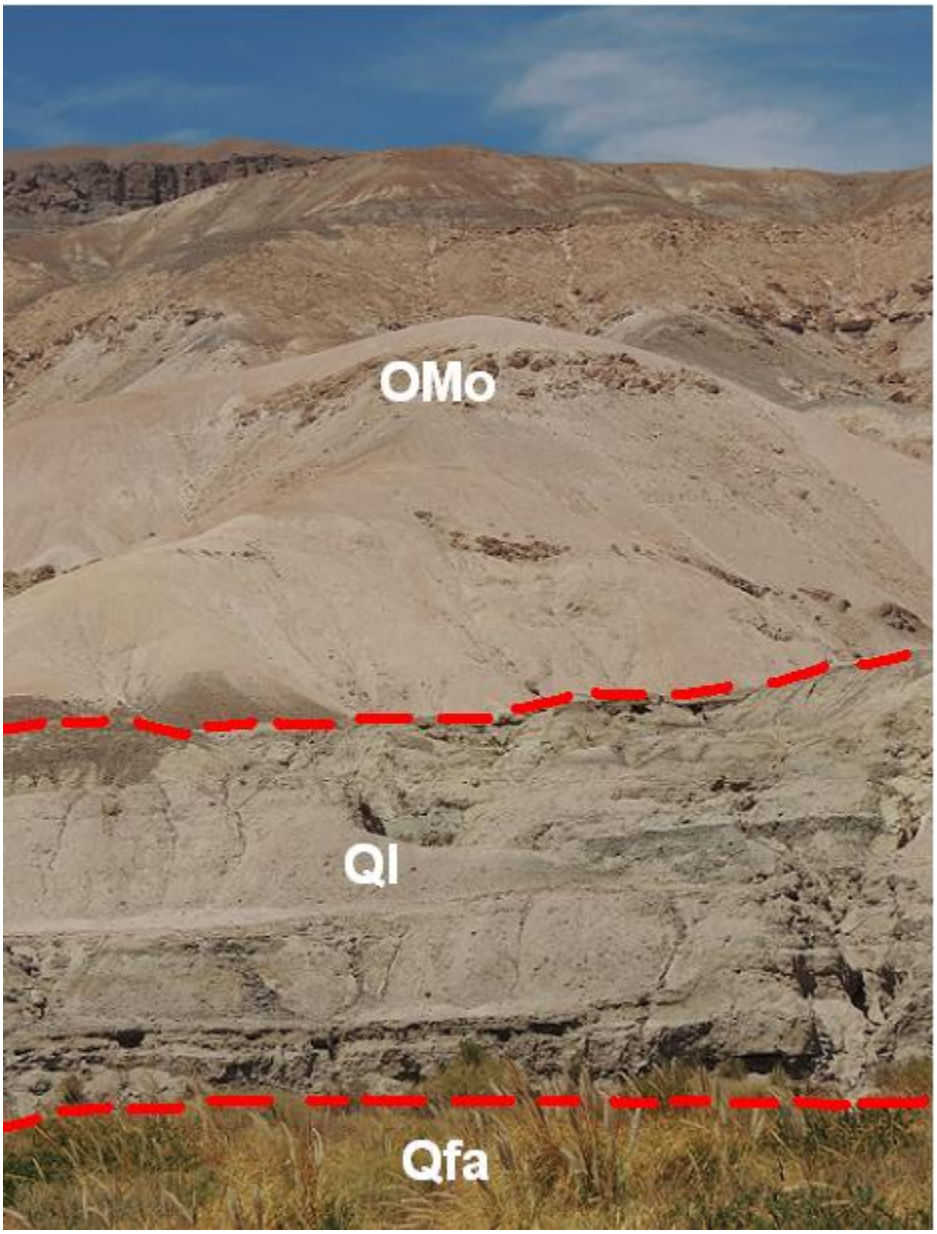



**Foto 3**.- Mayor detalle de foto anterior. Secuencia de depósitos lacustres, ***Ql***, en **plano GEO-PTN-01**; incluye una secuencia alternante, muy bien estratificada dispuesta horizontalmente, integrada por bancos de arenas, arenas limosas y limo arcillosos, acompañados de ocasionales niveles lenticulares de gravas y gravas arenosas; conjunto con moderado a bajo grado de litificación. Su elevada ripabilidad facilitaría la remoción mediante el simple empleo de equipo mecanizado. Esencialmente, se trata de sedimentos finos que mediante una explotación selectiva y convenientemente dosificados, podrían satisfacer demandas de

materiales impermeables, involucrados en el eventual diseño de una presa de tierra, homogénea o zonada; ***OMo*** = Depósitos ignimbríticos de la formación Oxaya; ***Qfa*** = Depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales de la llanura de inundación de la quebrada de Aroma.

**f) Materiales de deslizamiento multirrotacional, *Qd*, en plano GEO-PTN-01.**

Compleja mezcla maciza de fragmentos rocosos sueltos de diversa forma y tamaño, con predominio de bloques y clastos semiconsolidados, correspondientes a conglomerados y areniscas, originados a partir de un voluminoso deslizamiento multirotacional; los materiales provienen de terrenos que participan de un segmento de una empinada pared rocosa labrada en rocas de la formación El Diablo, ubicado a aproximadamente 2 km al N del tramo de la vertiente derecha del valle de la quebrada Aroma, objeto de estudio; en su progresivo avance hacia el S, a partir de la zona de despegue o arranque, los materiales removidos, comprometen terrenos involucrados en el sitio de emplazamiento del estribo o apoyo derecho del muro de las ALT2 y ALT3.

La señalada condición posibilitaría el tallado de cortes con alturas de 6 a 8 m, provistos de taludes regulares (sin bancos o escalones intermedios) aceptablemente estables, del tipo 1:3 a 1:4 (H:V),

Los depósitos lacustres precedentemente descritos se apoyarían, concordantemente, sobre la potente secuencia fluvial a fluvioaluvial que participa de gran parte del relleno del fondo de la quebrada de Aroma.

## 4.3.3.2. Basamento rocoso.

**a) Consideraciones previas.**

La categorización de "*basamento rocoso*" se aplicó a agregados o masas formadas naturalmente, densas, consolidadas y compactas de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes; habitualmente, se consideran sistemas continuos, en términos de sus propiedades, comportamientos geotécnicos y respuestas ante la acción de fuerzas aplicadas en sus respectivos entornos. De acuerdo a ello, se trata de materiales cuya resistencia, grado de fracturamiento y/o alteración superficial, determinan que sus respectivas remociones (excavaciones) sólo pueden ser realizadas recurriendo al empleo de procedimientos de perforación y tronaduras.

Atendidos tanto los objetivos, escala y alcances del estudio, como la ausencia de confiables levantamientos geológicos (correspondiente a cartas básicas publicadas por el IIG y/o SERNAGEOMIN), complementados con la información generada durante la realización del reciente breve reconocimiento geológico directo de los terrenos que participan de ambas vertientes de la quebrada de Aroma, involucrados en el análisis de los tres ejes alternativos de presas, el basamento rocoso conglomerádico e ignimbrítico local fue asignado, correlativamente, a las formaciones Azapa y Oxaya, de edad Oligoceno, (23 a 36 millones de años antes del presente), ***Oa*** y ***OMo***, respectivamente, en **plano GEO-PTN-01**. El procedimiento correlativo se sustenta en los resultados de estudios geológicos realizados


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

por ***García*** et al (2004), en la sección basal de la quebrada de Camarones, ubicada a aproximadamente 75 km al norte de la quebrada de Aroma.
La validación de la práctica de continuidad latitudinal, se apoya en marcadas afinidades entre los respectivos ambientes geomorfológicos, geológicos y estructurales.
De acuerdo a las consideraciones que anteceden, en la franja de terrenos objeto del estudio, los materiales rocosos que participan de la sección basal de la quebrada de Aroma, involucrados en los tres sitios objeto análisis, han asignados, correlativamente, a las siguientes unidades:

**b) Formación Azapa, *Oa*, en Plano GEO-PTN-01.**

Está constituida por depósitos sedimentarios continentales medianamente consolidados, con predominio de materiales conglomerádicos que configuran sucesiones monótonas, bien a moderadamente estratificadas horizontalmente, asociados a ambientes depositacionales fluviales a fluvioaluviales, **Foto 4**, en **plano GEO-PTN-01**.
Las fracciones granulares son esencialmente clastosoportadas, mal clasificadas; en zonas, desarrollan leve imbricación.
Los bancos presentan desarrollo tabular y/o lenticular, con espesores individuales métricos a decimométricos.
Los elementos clásticos poseen grano medio a muy grueso, subredondeados a subangulosos, heterocomposicionales (graníticos, volcánicos, volcanoclásticos y sedimentarios), densos, inalterados, con aspecto "fresco", muy resistentes, **Foto 4**, en **plano GEO-PTN-01**.
Solo localmente, la secuencia de la unidad incorpora delgadas intercalaciones lenticulares de areniscas gruesas y areniscas limosas.
A nivel regional, los materiales de esta unidad sobreyacen concordante y transicionalmente a la formación Oxaya.
De manera puntual, en numerosos sectores de la zona objeto de análisis, la actividad erosiva de tipo fluvial, actuando sobre depósitos con moderado a alto grado de litificación, ha favorecido el desarrollo de empinadas paredes subverticales, bastante estables, **Foto 4**, en **plano GEO-PTN-01**.
***Garcia*** et al (2004), asignan a esta formación una edad Oligoceno inferior (27 a 36 millones de años antes del presente).


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FOTO 4

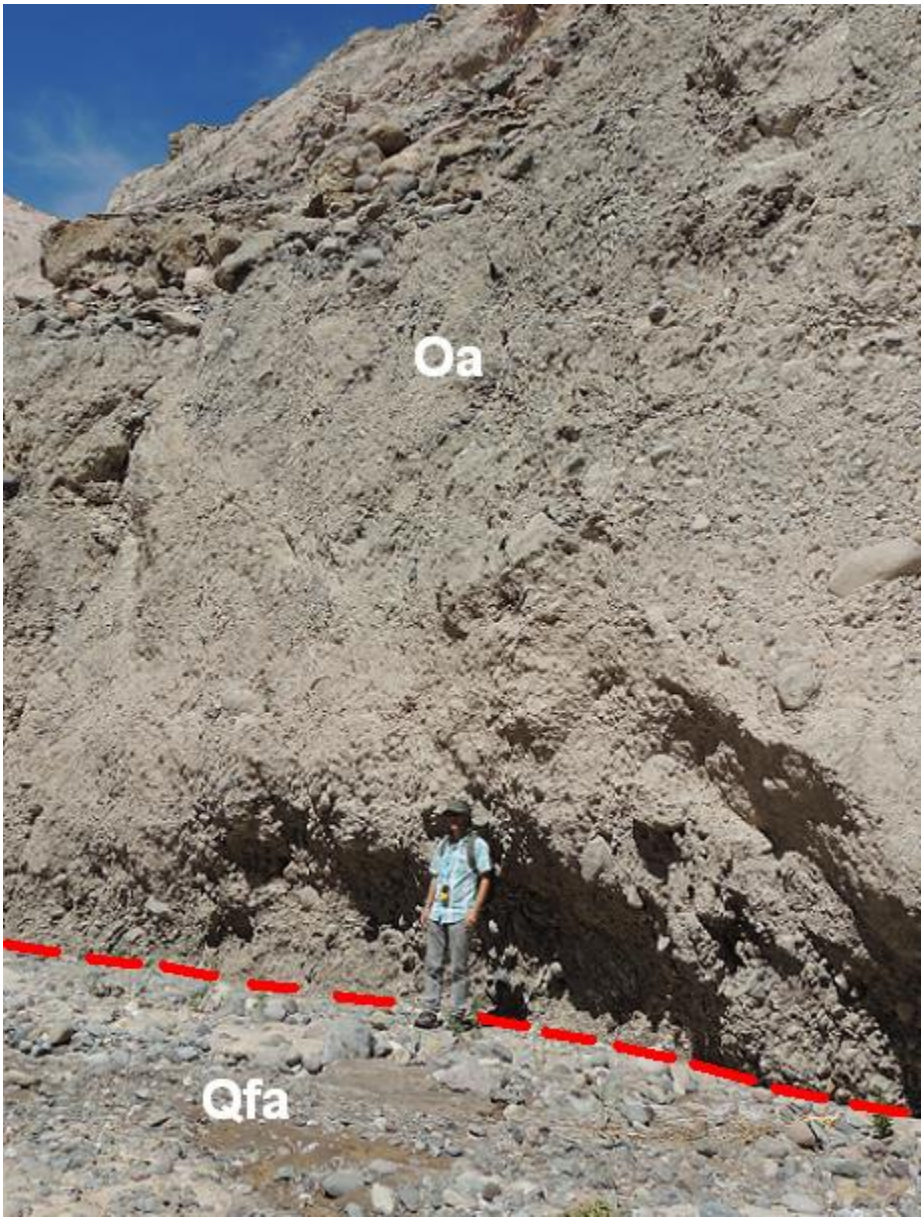



**Foto 4**.- Detalle del estribo o apoyo derecho de la presa de la ALT2. Potente secuencia maciza de depósitos conglomerádicos de tipo fluvial a fluvioaluvial asignados a la formación Azapa, ***Oa***, en **plano GEO-PTN-01**. Incluye una caótica mezcla de sedimentos granulares correspondientes a ripios y gravas, acompañados de abundantes bloques y bolones, subredondeados a subangulosos, heterocomposicionales, densos, inalterados, muy resistentes, inmerso en una escasa matriz de arenas finas a arenas limosas, con cemento arcilloso; se estima que la condición semiconsolidada del conjunto, favorecería su remoción mediante el simple empleo de equipo mecanizado, "picotón". En primer plano,

depósitos granulares del margen derecho de la llanura de inundación, ***Qfa***, en **plano GEO-PTN-01**. Escala: Persona de 1,75 m de altura.

**c) Formación Oxaya, OMo, en plano GEO-PTN-01.**

De acuerdo a su definición original ***Montecinos***, (1963), incluye en esta unidad una sucesión volcánica continental, maciza a pobremente estratificada, compuesta, principalmente por tobas ignimbríticas, rocas sedimentarias y lavas.

En la zona objeto de estudio, los materiales incluidos en esta unidad consignan, dominantemente, tobas vítreas de cristales (feldespatos, cuarzo, biotita, anfibola y escasos fragmentos líticos) con tonalidades blanquecinas a rosadas; localmente la secuencia suele incorporar intercalaciones gradacionales, lenticulares, de pómez blanca centimétrica, subredondeada; los materiales se presentan débil a moderadamente "soldados" o litificados, **Fotos 1**, **2**, **3**, **5** y **6**, en **plano GEO-PTN-01**.

Esencialmente se trata de materiales genéticamente asociados a ambientes depositacionales en planicies fluviales a fluvioaluviales, cuyos elementos clásticos provendrían, dominantemente, de actividad volcánica explosiva, con desarrollo de voluminosas calderas de colapso, radicada en la zona altiplánica de las Regiones I, II y XV.

***Garcia*** el al (2024), asigna a esta unidad una edad Oligoceno superior – Mioceno inferior (19 a 27 millones de años antes del presente).


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FOTO 5

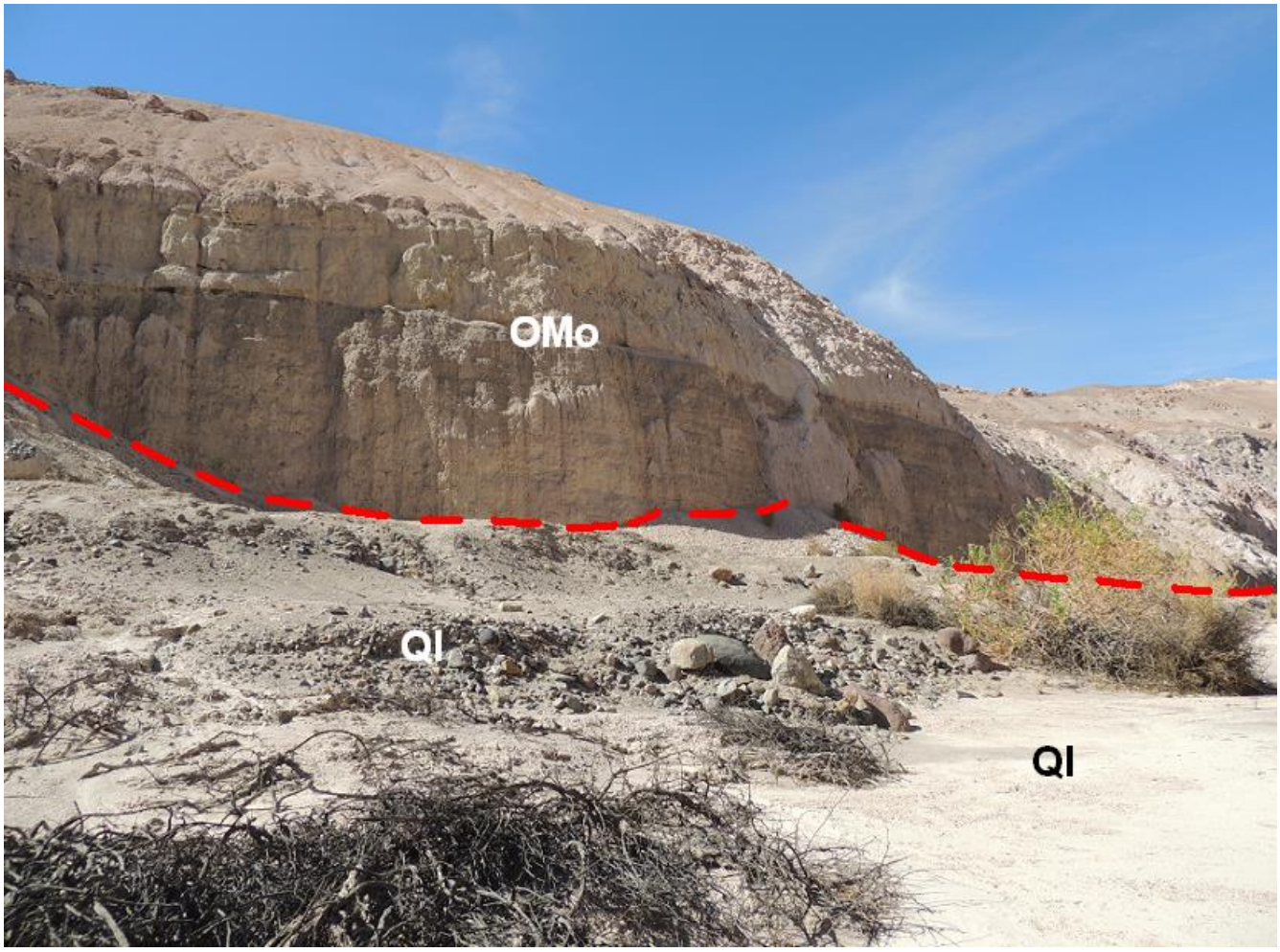



**Foto 5**.- Vista general de apoyo o estribo izquierdo de ALT1. Secuencia estratificada horizontalmente de depósitos ignimbríticos, correlacionables con la formación Oxaya, ***Omo***, en **Plano GEO-PTN-01**. Sección basal, correspondiente al extremo izquierdo de la llanura de inundación de la quebrada Aroma, integrada por una compleja secuencia bien estratificada de depósitos lacustres a fluviolacustres: alternancias finalmente laminadas de capas horizontales de limolitas a limolitas arcillosas, ***Ql***, en **Plano GEO-PTN-01**.

**FOTO 6**

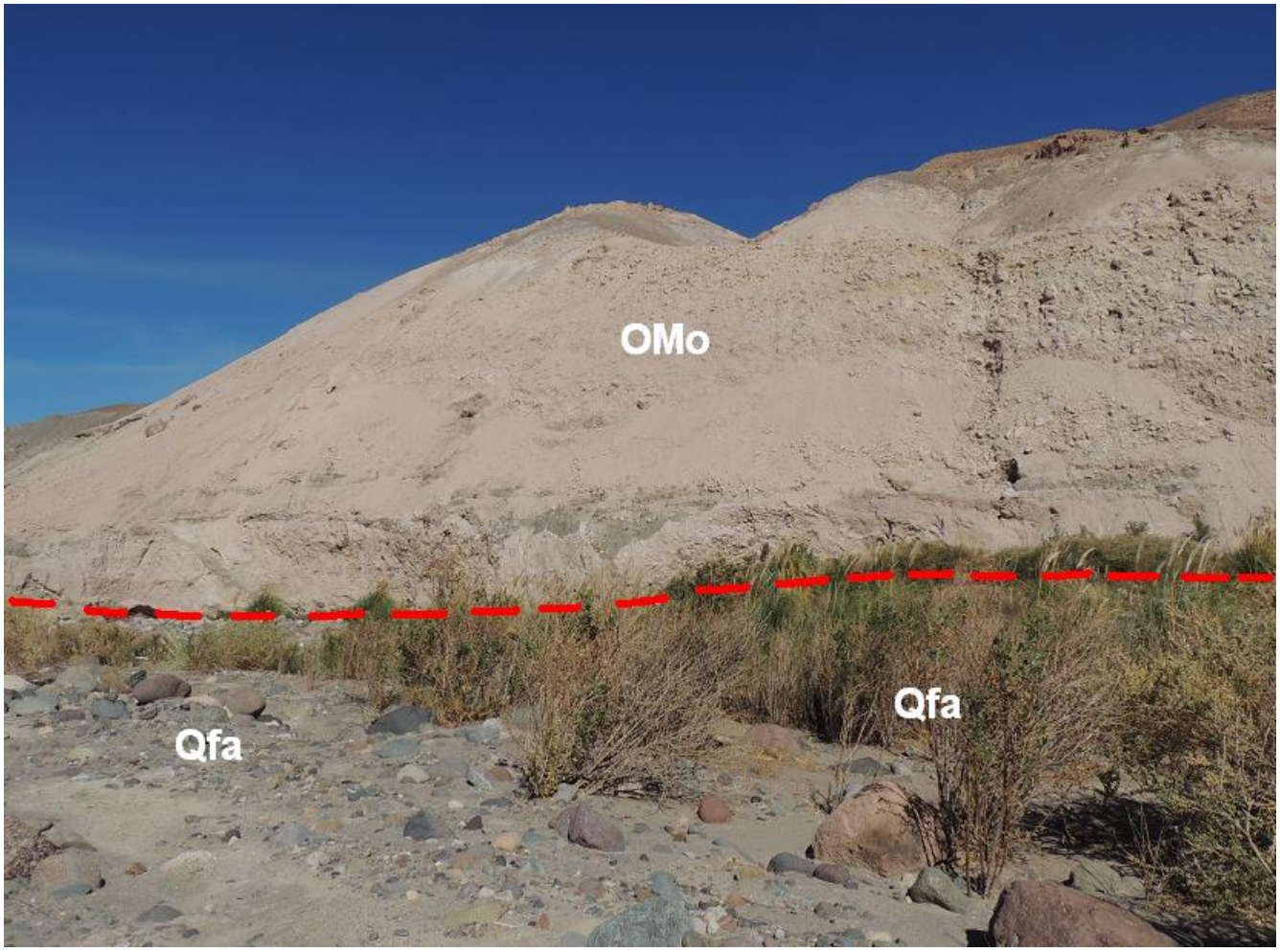



**Foto 6**.- Vista general de apoyo o estibo derecho de ALT1. Secuencia maciza a bien estratificada de depósitos ignimbríticos de la formación Oxaya, ***OMo***, en **Plano GEO-PTN-01**. Ladera bastante estable, con pendiente de 33 a 35°. En primer plano, depósitos fluviales a fluvioaluvial de la actual llanura de inundación de la quebrada Aroma, ***Qfa***, en **Plano GEO-PTN-01**, integrada por una secuencia maciza de ripios, gravas, gravillas y arenas muy gruesas, con escasos finos cohesivos; depósitos porosos, muy permeables.

### 4.3.4. Riesgos Geológicos

## 4.3.4.1. Consideraciones Conceptuales

El concepto riesgo geológico debe ser entendido como:…"todo proceso, situación o suceso, en el medio geológico natural, inducido o mixto, que puede generar un daño económico o

social para alguna comunidad, y en cuya predicción, prevención o corrección han de emplearse criterios geológicos…" (**Ayala – Carcedo**, p. 5; 1987).

Para cada uno de los riegos identificados se analizan sus características, causas, efectos y probabilidad cualitativa de ocurrencia.

**a) Diagnóstico de Riesgos Geológicos**

En la zona directamente comprometida en el estudio y su entorno inmediato, la presente evaluación se centró en los riesgos impuestos por los siguientes procesos geológicos: volcánicos, remociones en masa, sísmicos, reactivación de fallas.

En relación con esta materia, interesa consignar que las técnicas de evaluación de riesgos asociados a procesos geológicos, se sustenta en el principio del "actualismo" que establece …"*el estudio y conocimiento del pasado y el presente, proporciona la clave de lo que puede ocurrir en el futuro…"* Ello significa que las roturas e inestabilidades que puedan ocurrir en el futuro, es probable que lo hagan en las mismas condiciones, mecanismos y espacios, que eventos o procesos pasados o antiguos y/o actuales.

El análisis del riesgo geológico en torno a la zona objeto de estudio permite asumir que, en el próximo futuro, los procesos geológicos naturales que con mayor frecuencia podrían afectar la vida, seguridad, salud y bienes de las personas y comunidades instaladas en la quebrada de Aroma, corresponderían, principalmente, a aquellos vinculados a procesos de remociones en masa, actividad sísmica y volcánica. De acuerdo a ello, y en el marco de los intereses del presente estudio, cada uno de ellos será objeto de un breve un análisis pormenorizado:

**Remociones en Masa**

El concepto remociones en masa, RM, consigna…"procesos de movilización lenta o rápida de determinados volúmenes de suelos, rocas fragmentadas o sus mezclas, en variadas proporciones, generados por una serie de factores condicionantes y gatillantes o activadores…". **Hauser** (2002).

La revisión de algunas imágenes satelitales comprometiendo terrenos, que incluyen un serie de rasgos morfológicos (escarpes, bloques sueltos de gran tamaños, zonas despresionarias, terrenos deformados y frentes lobulares), que contrastan respecto del modelado circundante, permitió su asignación, a nivel de hipótesis de trabajo, a un mecanismo de remoción en masa, tipificado como deslizamiento multirrotacional, originado a partir de una empinada pared rocosa ubicada a aproximadamente 2 km al norte de la vertiente derecha del valle de la quebrada de Aroma, objeto de estudio.

Esencialmente, se trataría de un deslizamiento en el que la rotura habría ocurrido a través de una superficie curva. La rotación múltiple está condicionada al desarrollo de varios deslizamientos que van englobándose sucesivamente de acuerdo a superficies de rotura curvas.

Conforme a ello, su escarpe principal, (con una altura media de 200 a 240 m) y gran parte de la zona de "arranque o despegue", participan de terrenos fuera del alcance cartográfico del **plano GEO - PTN-1**; el grado de obliteración superficial de los materiales movilizados, daría cuenta de un episodio ocurrido en el pasado geológico, probablemente Holoceno, (10 a 12


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

mil años antes del presente), comprometiendo la sección superficial de la formación El Diablo, de edad Mioceno inferior – Mioceno Superior); incluye una compleja sucesión sedimentaria continental, predominantemente clástica integrada por bancos alternantes de areniscas, conglomerados, junto a bancos de limolitas y calizas semiconsolidadas, de colores gris, verde, amarillo y pardo, con ocasionales intercalaciones lenticulares de tufitas, diatomitas, cherts y halita.

Preliminarmente, se estima que los mecanismos desencadenantes o contribuyentes de la remoción, pueden ser atribuidos a solicitaciones sísmicas, inducidas por desplazamientos a lo largo de planos de rupturas que participan de ambientes tectónicos intraplacas.

Un análisis preliminar de los terrenos involucrados en la remoción precedentemente descrita, permitió extender la continuidad de la masa movilizada hacia el sur, concordante con el tramo de la vertiente derecha del valle de la quebrada de Aroma, comprometida en el emplazamiento del apoyo derecho de las ALT – 2 y ALT – 3, ***Qd***, en **Fotos 7**, **12** y **14**, en **Plano GEO- PTN - 01**. En dicho sector, los materiales configurarían un ambiente de dudoso carácter geotécnico, para la fundación de los estribos derechos de las señaladas alternativas.

Las incertidumbres vinculadas al carácter geológico y comportamiento geotécnico de los señalados materiales (riesgo de reactivaciones, estabilidad, capacidad de soporte y permeabilidad) estará condicionada a los resultados de la aplicación de prácticas conservadoras, incluyendo inspecciones y pruebas de laboratorio de los materiales extraídos mediante sondajes de exploración, a ser realizados próximamente.

A lo largo de ambas empinadas laderas del estrecho y profundo valle de la quebrada de Aroma, concordante con los terrenos comprometidos con el emplazamiento de las presas de las 3 alternativas vigentes del PCEP, el reciente reconocimiento permitió la identificación, delimitación y caracterización de voluminosos acopios de materiales fragmentarios genéticamente asociados a remociones en masa, enmarcados en las tipologías de: flujos detríticos ("aluviones"), avalanchas, deslizamientos y deslizamientos de rocas; "corrimientos" o "derrames" de escombreras de laderas de cerro o conos de deyección.

Los procesos de avalanchas de rocas, se concentran en discontinuos sectores de ambas vertientes de la quebrada de Aroma, concordante con el eje de la ALT3, **Fotos 7**, **8** y **9**, **Plano GEO-PTN-01**.

**FOTO 7**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

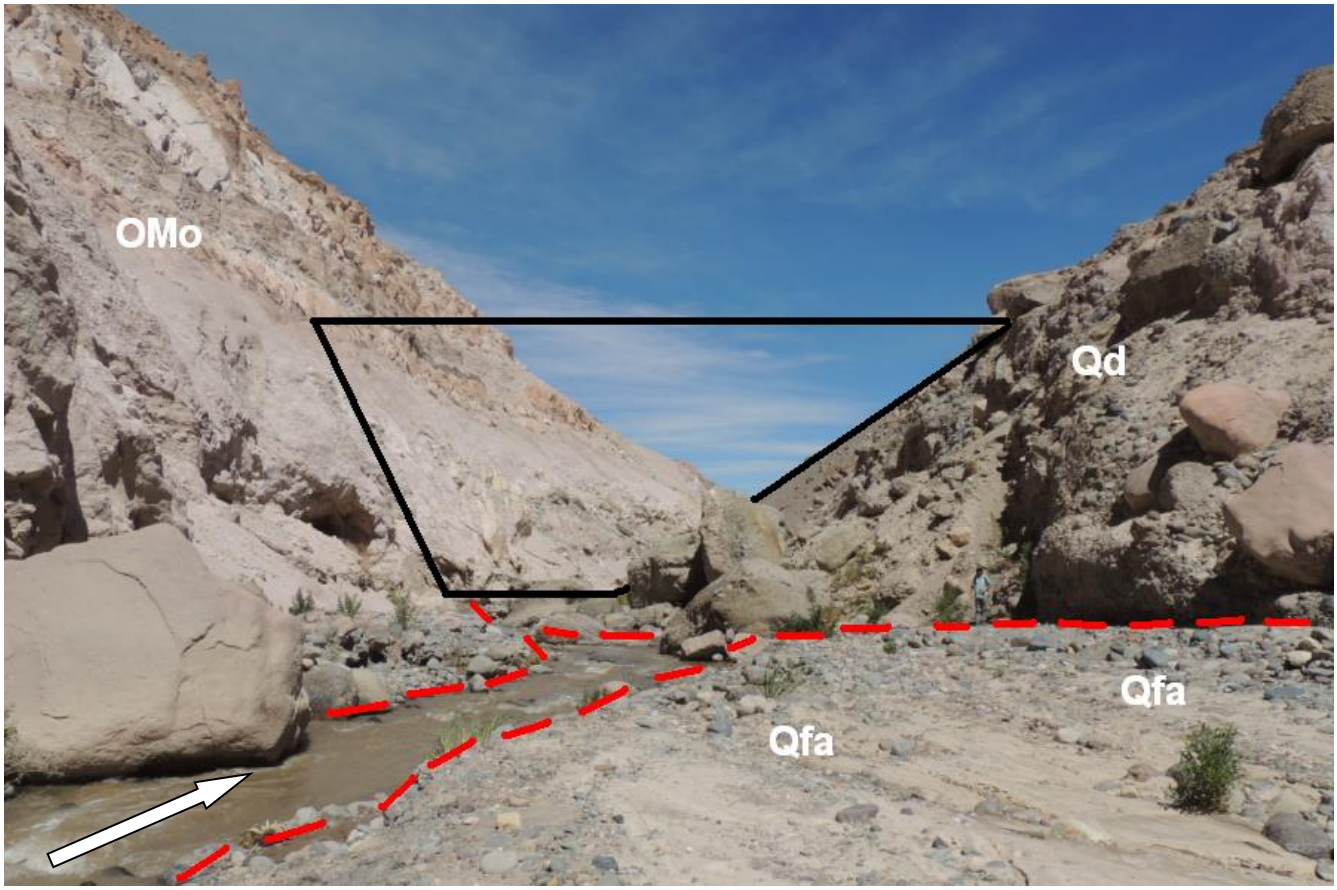



**Foto 7**.- En terrenos comprometidos en el apoyo derecho de la ALT-3, se observa la presencia de abundantes bloques rocosos, angulosos a subredondeados, con diámetros máximos de 1,8 a 2,5 m y medios de 0,4 a 0,6 m, integrados por materiales conglomerádicos, asignados a la formación El Diablo, Qd, en plano GEO- PTN-1; se trata de materiales que participarían de una masa movilizada por un voluminoso deslizamiento multirotacional, cuyo escarpe principal o "zona de arranque" se ubica en torno a un segmento de una empinado pared rocosa desarrollada en la parte más alta de la vertiente derecha el valle de la quebrada Aroma, 2 km al N de la zona objeto de estudio. La fuerte pendiente de la ladera, determina que los materiales removidos, sueltos, desarrollen una desfavorable condición de inestabilidad. En el sector, la persistente removilización de bloques rocosos y materiales granulares sueltos y consiguiente acumulación sobre la llanura de inundación, suele provocar obstrucciones temporales en el escurrimiento normal de las aguas en la quebrada de Aroma.

**FOTO 8**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

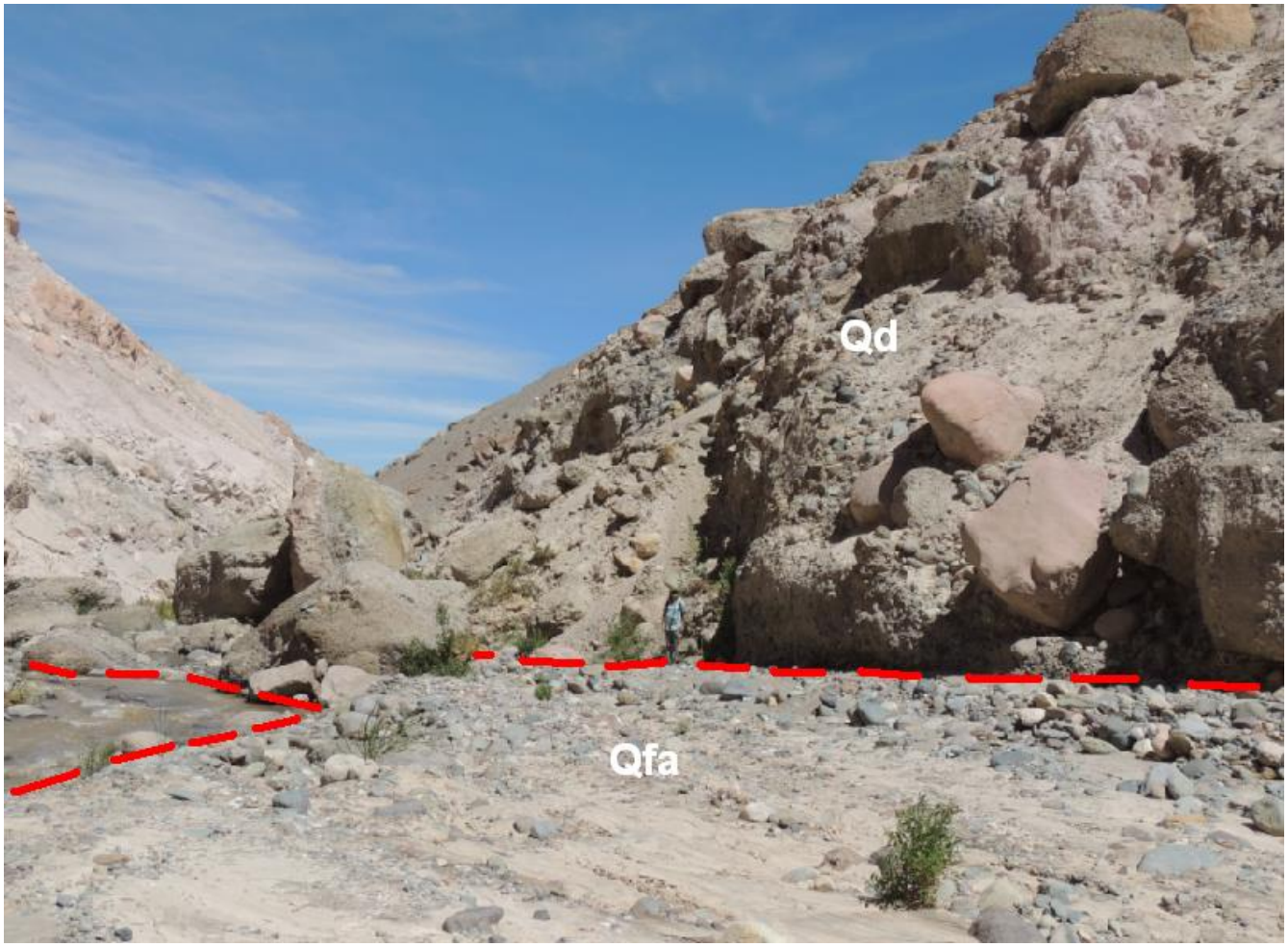



**Foto 8.-** Sección basal de la quebrada de Aroma, comprometida en el emplazamiento del apoyo derecho de la presa ALT3. Voluminoso acopio de bloques rocosos de diversa forma y tamaños máximos de 1,8 a 2,4 m de diámetro, producto de desprendimientos históricos y modernos, a partir de empinados afloramientos constituidos por depósitos conglomerádicos asignados a la formación El Diablo, ***Qd***, en **plano GEO- PTN-1.**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FOTO 9**

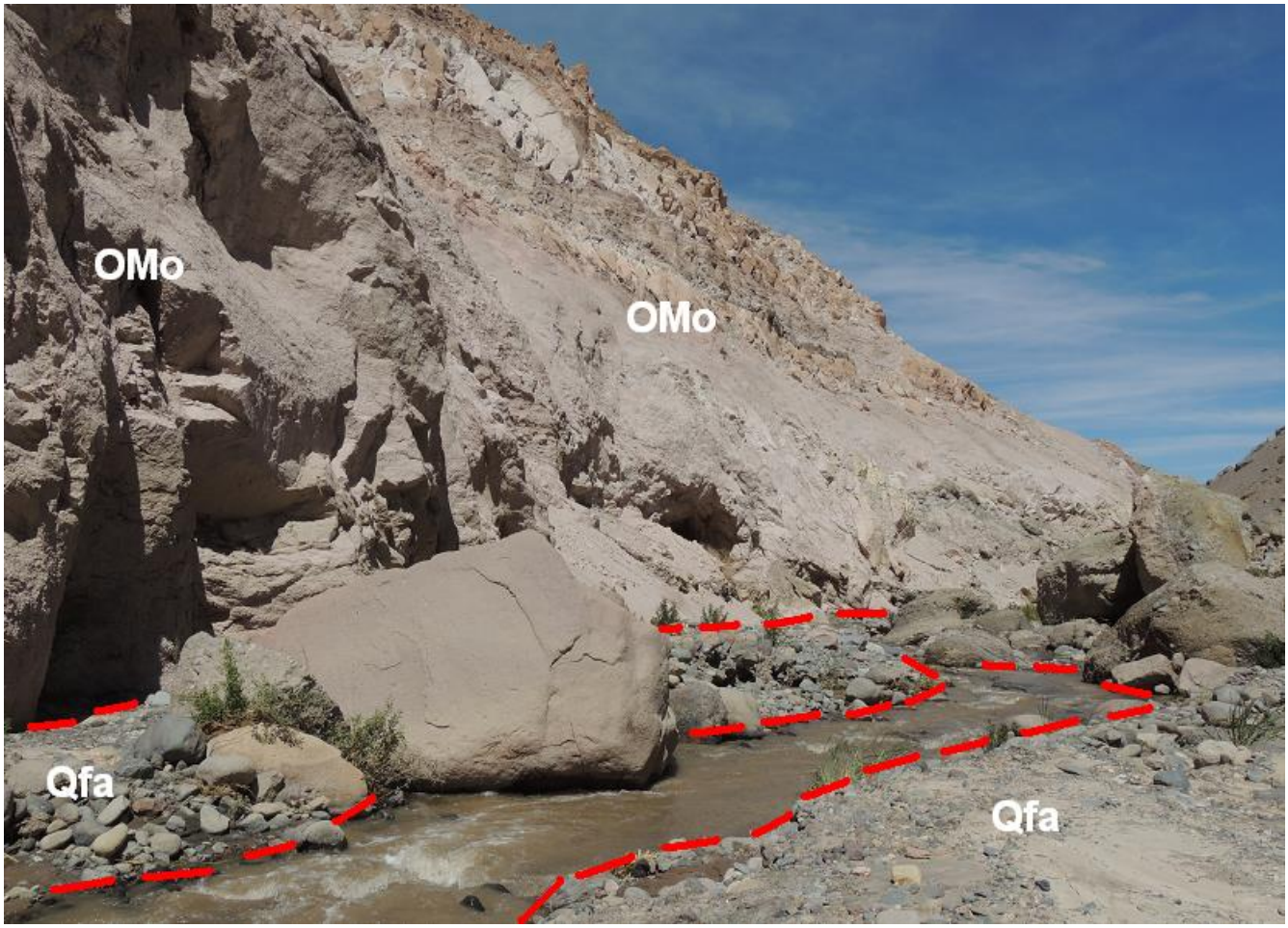



**Foto 9**.- Detalle de la sección basal de la quebrada Aroma, comprometida en el emplazamiento del apoyo izquierdo de la ALT3. Las rocas ignimbríticas correlacionables con la formación Oxaya, ***OMo***, en **Plano GEO-PTN-01**; se observan recorridas por un complejo patrón de fracturamiento que condiciona el recurrente desarrollo de desprendimientos de bloques, controlados por mecanismos de "cuñas", gatillados por actividad erosiva de flujos torrenciales, inducidos por crecidas asociadas al "invierno boliviano". En primer plano bloque de 1,8 a 2,0 m; ***Qfa*** = Depósitos fluviales a fluvioaluviales de la llanura de inundación.

Los flujos aluviales o detríticos se focalizan, principalmente, a lo largo de los ejes de 2 quebradas que en torno a la ALT3, vierten al margen derecho de la quebrada de Aroma, ***Qfd,*** en **Plano GEO-PTN-01**.

Registros testimoniales de lugareños con larga data de residencia en diversos segmentos de la quebrada de Aroma, señalan que con recurrencias de 3 a 5 años, episodios aluviales concentrados tanto a lo largo de su cauce principal como de estructuras tributarias, vinculados al "invierno boliviano", suelen provocar severos daños puntuales en la plataforma


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

del camino A – 455; ello, impide acceder hacia las cabeceras de la hoya hidrográfica de la quebrada de Aroma, concordante con el empalme al camino Huara – Colchane.
Finalmente, importa consignar que, en el sector objeto de análisis, el valle de la quebrada de Aroma, configura una profunda estrecha sección transversal, provista de empinadas laderas rocosas, donde los altos niveles de fracturamiento local, favorecen el permanente desarrollo de activos derrames coluviales o flujos detríticos; se expresan en discontinuas coberturas con variados espesores.
De las consideraciones que anteceden, se concluye que en el segmento del valle de la quebrada de Aroma objeto de estudio, las remociones en masa descritas, continuarán desarrollándose focalizadamente, a partir de sus empinadas laderas rocosas, comprometiendo los mismos procesos, volúmenes, magnitudes, alcances y agentes desencadenantes, que aquellos episodios ocurridos en el pasado histórico.
Conforme a ello, la totalidad de las eventuales excavaciones involucradas tanto en la ejecución de caminos de acceso hacia el sitio de la alternativa seleccionada, como de aquellas involucradas en la preparación de las fundaciones de la presa del embalse y sus correspondientes obras anexas, comprometerían potentes coberturas de depósitos granulares sueltos de tipo coluvial, se asume que, independiente de los taludes a adoptar, demostrarán condiciones de dudosa estabilidad; por tanto, demandarán la instalación de muros de contención a base de gaviones y/o aplicación de complejos procedimientos de estabilización temporal o permanente, mediante la colocación de mallas metálicas afianzadas al basamento rocoso, por medio de pernos de anclaje, con o sin capas de hormigón proyectado.

**Riesgos Volcánicos**

La revisión de documentos referenciales involucrados en el conocimiento volcánico de la cordillera andina de la Primera Región, permitió establecer que, en torno a las cabeceras de la hoya hidrográfica de la quebrada de Aroma, se emplazan una serie de centros emisores; gran parte de la actividad de tipo explosivo, (representadas por voluminosas emisiones de material particulado al espacio), se produjo durante el Terciario superior, (1,6 a 16 millones de años antes del presente). Conforme a ello, la mayor parte de dichas estructuras volcánicas, distantes de la zona objeto de estudio, permanecen actualmente apagadas o "quietas".

**Reactivación de Fallas**

La complementación de los información morfoestructural y geológica de la zona objeto de estudio y su entorno inmediato, sustentada en análisis de documentos referenciales e imágenes satelitales, complementados con registros obtenidos durante el breve reconocimiento directo del terreno local, permitió establecer la ausencia de elementos estructurales del tipo lineamientos y fallas, en situación imponer riesgos por reactivaciones, durante la vida operativa del Proyecto.

**Riesgo Sísmico**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El término riesgo sísmico debe ser entendido como *las pérdidas esperadas que sufren las obras civiles o elementos expuestos a sus solicitaciones, durante sus respectivas vidas útiles proyectadas.*

A nivel regional, el entorno de la zona objeto del estudio ha experimentado en repetidas oportunidades movimientos sísmicos de moderada a alta magnitud, provocados por terremotos vinculados a activas zonas focales ubicadas en torno al borde litoral, en directa relación con mecanismos de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana. La zona objeto del estudio, se ubica a aproximadamente 80 km al oriente del borde litoral.

Atendidas las consideraciones que anteceden y de acuerdo a la "Norma Chilena para el Diseño y Construcción de Obras Civiles, los terrenos comprometidos en el Proyecto objeto de estudio, se ubicarían en la denominada "*Zona Sísmica 1*", correspondiéndole una aceleración de gravedad (g) = 0,20 g; interesa consignar que la señalada normativa se aplica, exclusivamente, a sismos vinculados a mecanismos interplaca.

Finalmente, respecto del riesgo sísmico, importa señalar que el día 24 de Julio del 2001, se registró un sismo intraplaca, grado 6,3 afectando terrenos que participan del entorno inmediato al sector de Aroma, (4,6 km aguas arriba de la zona objeto de estudio).

Conforme a ello, durante la posterior etapa de factibilidad del Proyecto, la evaluación del riesgo sísmico se deberá extender a mecanismos desencadenantes controlados por el desplazamiento de planos de fallas, radicados en ambientes tectónicos intraplaca. Esencialmente, se trata de sismos corticales, de difícil perdicción, dispersos, gran magnitud, con baja recurrencia y escaso alcance o compromiso areal, cuyos focos superficiales se sitúan en el límite o sobre la zona de subducción, a profundidades < 10 km.

### 4.3.5. Materiales de Empréstito: Rellenos, Áridos y Enrocados.

En el reciente reconocimiento directo del fondo del valle de la quebrada de Aroma tanto en torno al segmento netamente comprometido en el presente estudio objeto de análisis, como de su entorno inmediato, correspondiente a terrenos ubicados aguas arriba, permitieron establecer la presencia de importantes remanentes de terrazas marginales de tipo fluvial a fluvioaluvial, **Plano GEO-PTN-01**. En su conjunto, están integradas por depósitos granulares ripios, gravas, gravillas y arenas gruesas, en situación de satisfacer a cabalidad eventuales futuras demandas de materiales, tanto para la construcción de un muro del embalse, (tipología CFRD), como para la construcción de rellenos, terraplenes, preparación de fundaciones y producción de áridos involucrados en la preparación de hormigones de variadas calidades. Esencialmente, se trata de potentes secuencias granulares, macizas a pobremente estratificadas de materiales granulares, con moderado a bajo grado de litificación, cuyos elementos clásticos, heterocomposicionales (graníticos, volcánicos y volcanoclásticos), se presentan densos, inalterados, muy resistentes. De acuerdo a ello, se asume que su calidad físico – química está en condiciones de satisfacer a plenitud las especificaciones técnicas para la construcción de presas de variadas tipologías: homogéneas, zonadas y hormigón rodillado, entre otras.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Por su parte, se estima que las eventuales demandas de materiales finos, impermeables, podrían ser satisfechas mediante extracciones mecanizadas selectivas, a partir de terrazas marginales lacustres a fluviolacustres, ubicadas en torno al pié de la vertiente izquierda de la quebrada de Aroma, 300 a 400 m aguas arriba de la ALT1.
En la **Plano GEO-PTN-01**, se indican terrenos con potencial para la obtención de materiales de empréstito.
Finalmente, importa consignar que el carácter geológico de los terrenos que participan del entorno inmediato a la zona objeto de estudio, con predominio de depósitos sedimentarios volcánicos a volcanoclásticos, (tobas, brechas tobáceas e ignimbritas y conglomerados), limita la ubicación y disponibilidad de materiales en condiciones de satisfacer a plenitud eventuales futuras demandas de enrocados. Esencialmente, los materiales rocosos disponibles en el entorno inmediato a los 3 sitios analizados, sólo involucran rocas con moderadas a bajas densidades (1,4 a 1,6 gr/cm$^3$) y resistencias a la compresión simple (120 a 200 gr/cm$^2$ ); carácter que restringiría la posibilidad de producir bloques angulosos, cuya efectiva traba mecánica global en obras, garantice la construcción de estructuras monolíticas, indeformables, resistentes y estables, desde defensas fluviales (protecciones de cauces, instalaciones de deflectores) hasta presas y sus correspondientes elementos de protección, compatibles con sus habituales condiciones de seguridad y operación.

### 4.3.6. Análisis Morfogeológico y Geotécnico de las Alternativas

A continuación, sustentado en aspectos morfogeológicos y geotécnicos, se proporcionada análisis comparativo de cada uno de los 3 sitios alternativos, previamente establecidos para el emplazamiento de presas del PCEP, ubicado en sendos segmentos del valle de la quebrada de Aroma, objeto del presente estudio.

#### 4.3.6.1. Alternativa 1. *ALT1,* en Plano GEO-PTN-01.

En este sitio, la quebrada presenta una sección transversal muy asimétrica, modelada exclusivamente, en una potente secuencia estratificada subhorizontalmente de materiales tobáceos a ignimbríticos que, localmente incorporan ocasionales bolones y clastos decimétricos, andesíticos, atribuida a la formación Oxaya, ***OMo***, en **Fotos 5**, **6**, **10** y **11,** en **Plano GEO-PTN-01**.
El fondo del valle incorpora una llanura de inundación de 95 a 100 m de ancho, dimensión que supera por mucho a las restantes alternativas; en el sector, la escasa pendiente del eje hidráulico de la quebrada de Aroma, ha condicionado la divagación del cauce, expresado en el desarrollo de 2 cursos bastante bien establecidos, que han controlado el desarrollo de una elongada "isleta" central, que alberga una abundante colonización vegetal de especies freatófitas, **Plano GEO-PTN-01**.
Al momento del reciente reconocimiento directo del terreno local, las aguas de escurrimiento de la quebrada de Aroma, presentaban una importante "carga" de sólidos finos en suspensión.

## FOTO 10

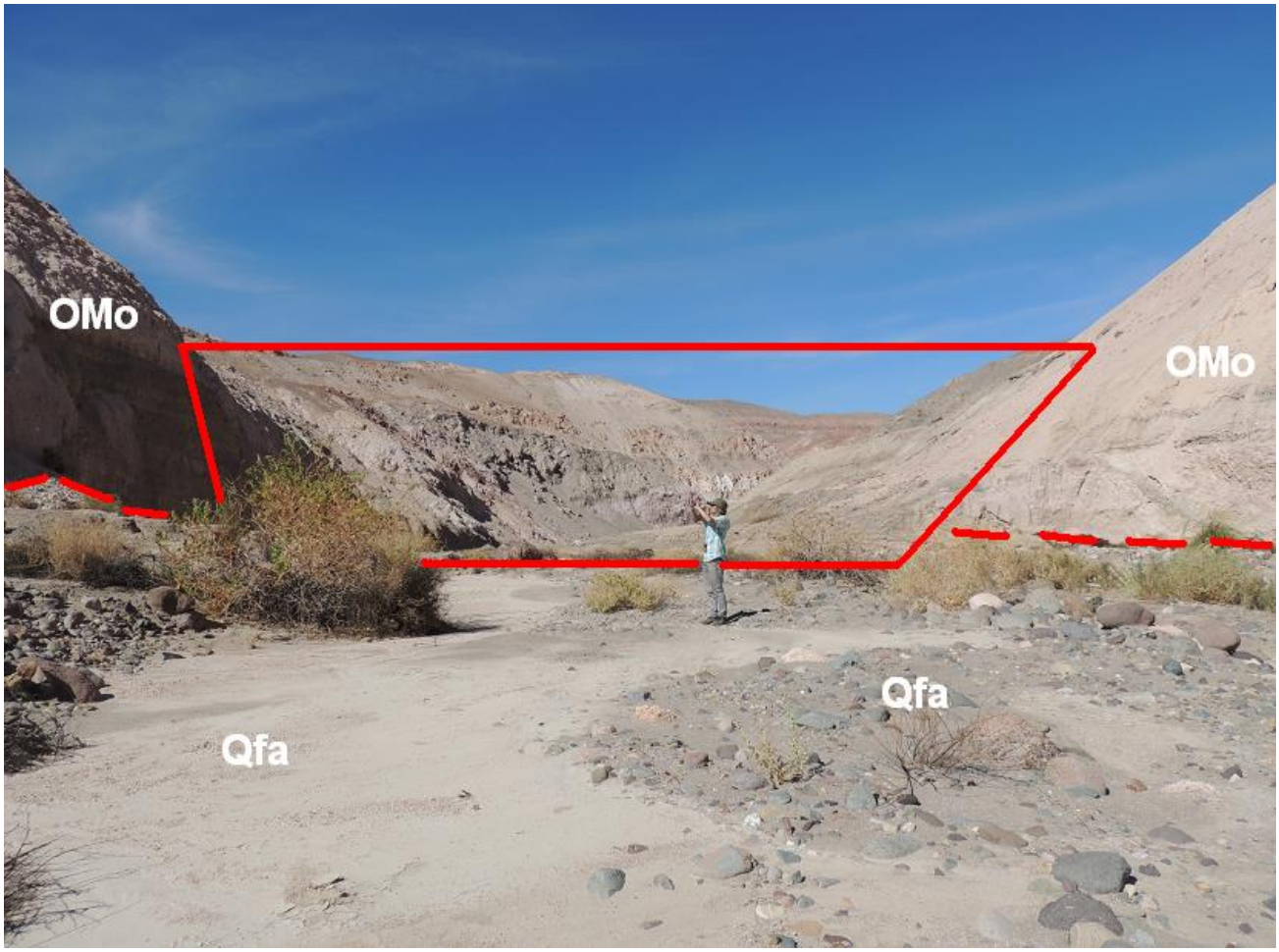



**Foto 10**.- Vista hacia aguas abajo por quebrada de Aroma. Sección transversal bastante simétrica, correspondiente al sitio de la ALT1; ***OMo*** = Secuencia ignimbrítica correlacionable con la Formación Oxaya; ***Qfa*** = Depósitos fluviales a fluvioaluviales.

El relleno del fondo del valle está integrado por una secuencia maciza a pobremente estratificada de depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales, con moderada a baja compacidad, sueltos, por tanto, muy porosos y permeables.

Los depósitos granulares que participan del relleno del fondo de la quebrada de Aroma en el sector, admitirían ser englobados en la clasificados GP – GW, (USCS); para ellos, se estiman densidades naturales de 1,70 – 1,90 ton/m$^3$ y relativa de 70%, correspondiente a un suelo granular moderadamente denso; cohesión (c) = 0 ton/m$^2$; ángulo de fricción interna (Φ) = 36 - 38°; capacidad de soporte admisible (*Qa)*, = 2,4 – 2,6 kg/cm$^2$ (cargas estáticas) y 3,0 – 3,1 kg /cm$^2$ (combinación de cargas sísmicas y estáticas) y porosidades ("n") de 25 a 27 %. Este tipo de depósitos registrarían elevadas tasas de infiltración.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FOTO 11**

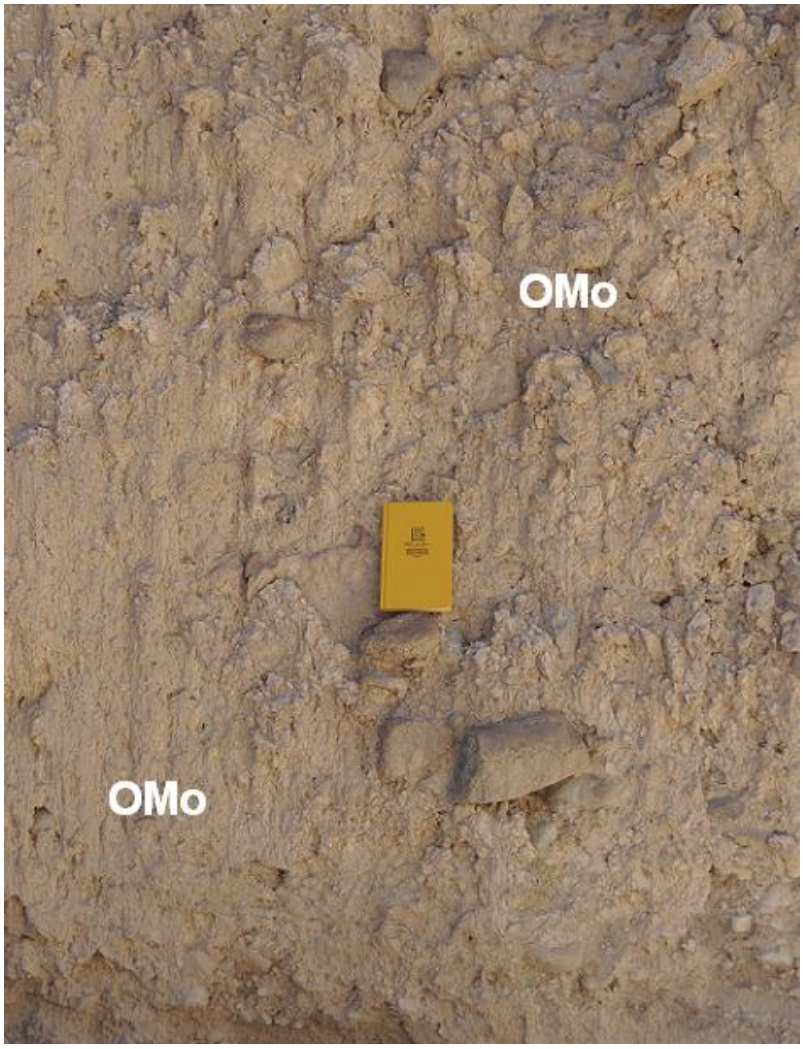



**Foto 11**.- Detalle de depósitos ignimbríticos semiconsolidados de la formación Oxaya, ***OMo,*** comprometidos en el sitio de emplazamiento del apoyo izquierdo de la ALT1; en el sector, la secuencia incorpora algunos clastos andesíticos, afaníticos a microporfídicos, subredondeados a subangulosos, densos, inalterados muy resistentes. Escala: Libreta de 12 x 19 cm.

Experiencias prácticas vinculadas al comportamiento de estos materiales en cortes viales, permiten definir aceptables condiciones de estabilidad para taludes del tipo 1:3 a 2:3 (H: V) provistos de alturas en el rango de 4 a 6 m.

Normalmente, la mayoría de los materiales procedentes de las excavaciones o desmontes, resultarían adecuados para la construcción de rellenos o terraplenes, aún cargados, puesto que responden muy bien a la compactación mecanizada; mayoritariamente, la excavación de zanjas o estructuras de fundaciones es posible; al crear paredes subverticales bastante


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

estables, minimizan la necesidad de recurrir a complejos sistemas de entibaciones especiales; este carácter suele proporcionar tiempo suficiente para la efectiva instalación de eventuales estructuras de refuerzo y ejecución del hormigonado.
Se asume que la presencia focalizada de niveles lenticulares finos (limosos a limos arcillosos de tipo lacustre) intercalados en la secuencia granular, podrían dar lugar a comportamientos geotécnicos desiguales en los distintos puntos de apoyo de algunas cimentaciones, (asentamientos diferenciales inadmisibles).
La moderada a baja compacidad de los materiales de esta unidad, les otorga una alta ripabilidad, facilitando las excavaciones mecanizadas.
Mayoritariamente, se trata de depósitos muy aptos como potenciales fuentes para la obtención de materiales de rellenos, terraplenes y áridos involucrados en la elaboración de hormigones; no suelen presentar problemas de agresividad, por tanto, es posible la preparación de hormigones con cementos normales.
Se estima que durante las excavaciones vinculadas a la preparación de las fundaciones de la presa y obras anexas de esta alternativa, comprometiendo depósitos granulares muy permeables de terrazas marginales bajas o "nuevas" de tipo fluvial a fluvioaluvial, se registren, a profundidades habituales de las cimentaciones, inestabilidades vinculadas a remociones del tipo desprendimientos o deslizamientos en sectores focalizados de las paredes creadas; se trataría de procesos asociados al desarrollo de adversas subpresiones controladas por oscilaciones de los niveles estáticos de las aguas subterráneas, albergadas en los depósitos granulares; la solución de este tipo de problemas suele exigir costosas faenas de "agotamiento" o bombeo.
La normal homogeneidad granulométrica en sentido lateral y profundidad de los sedimentos que participan de los ambientes fluviales a fluvioaluviales, facilita la programación y materialización de prospecciones geotécnicas.
Globalmente, los materiales rocosos correspondientes a una secuencia subhorizontal, integrada por flujos ignimbríticos que participarían de ambos apoyos de esta alternativa, presentan un moderado a bajo grado de litificación y alteración, cuya ripabilidad determinaría que un porcentaje importante de las excavaciones involucradas en la preparación de sus respectivas fundaciones, podrían ser ejecutadas mediante el empleo de equipo mecanizado: cargador frontal, bulldozer, "picotón" [15] . El señalado carácter y comportamiento de los materiales favorecería el desarrollo de cortes regulares o lisos, provistos de taludes estables del tipo 1:3 a 1:4 (H:V). Alturas superiores a los 7 a 8 m, exigirían la incorporación de bancos o escalones intermedios, (Ver **Foto 1**, en **Plano GEO-PTN-01**)

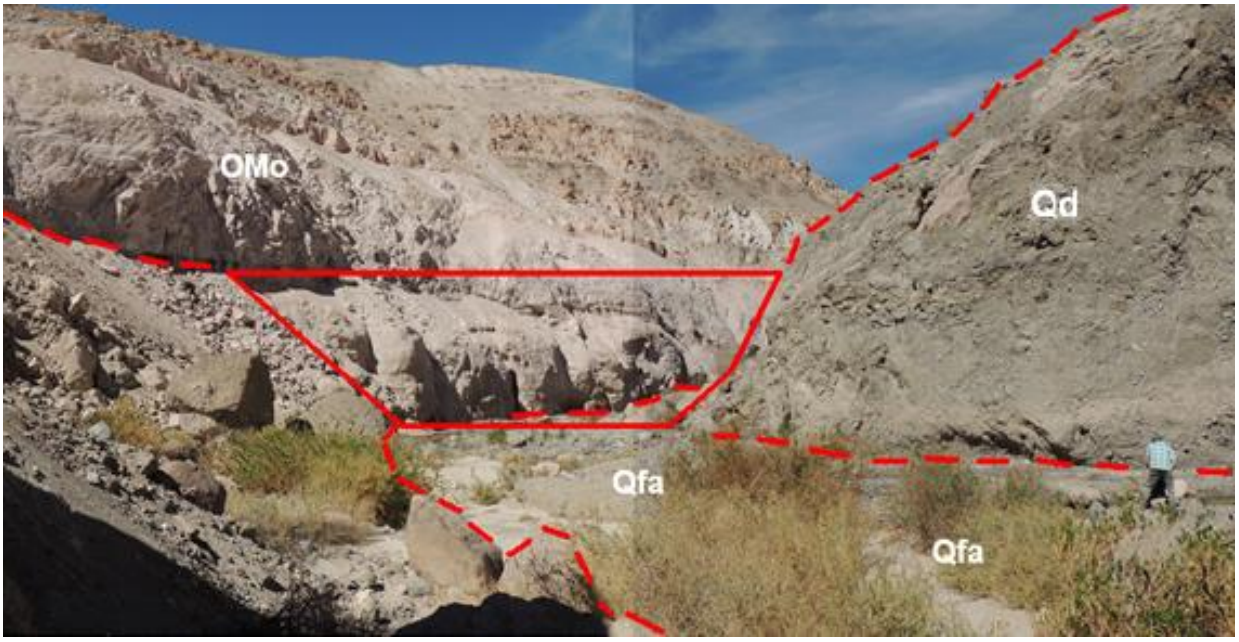
[15] Elemento punzante vibratorio, instalado en la sección frontal de un cargador, utilizado para demoler bloques rocosos o remover rocas superficiales meteorizadas y/o fracturadas


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## 4.3.6.2. Alternativa 2. *ALT2,* en Plano GEO-PTN-01.

En este sitio, el eje de la presa compromete una sección transversal bastante estrecha, profunda y asimétrica, provista de laderas con moderada a fuerte pendiente, en cuyo fondo una angosta llanura de inundación alberga el actual divagante cauce de la quebrada de Aroma, enmarcado por activos frentes lobulares de depósitos coluviales sueltos e inestables, acompañados de voluminosos derrames de bloques rocosos, **Fotos 12** y **13**, en **Plano GEO-PTN-01**.

**FOTO 12**




**Fotos 12.-** Vista general, mirando hacia aguas abajo de la sección transversal de sitio ALT2. En apoyo o estribo izquierdo, secuencia maciza, semiconsolidada, bastante bien estratificada horizontalmente de depósitos ignimbríticos de la formación Oxaya, ***OMo***, en **plano GEO-PTN-1**. El apoyo derecho incluye una compleja mezcla de bloques rocosos, inestables, con predominio de materiales conglomerádicos de diversa forma y tamaño, correspondientes a la formación El Diablo, movilizados por un voluminoso deslizamiento multirrotacional, ***Qd*** en **plano GEO-PTN-1**. ***Qfa*** = Depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales, que en el sector, participan del relleno del fondo de la quebrada de Aroma.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FOTO 13

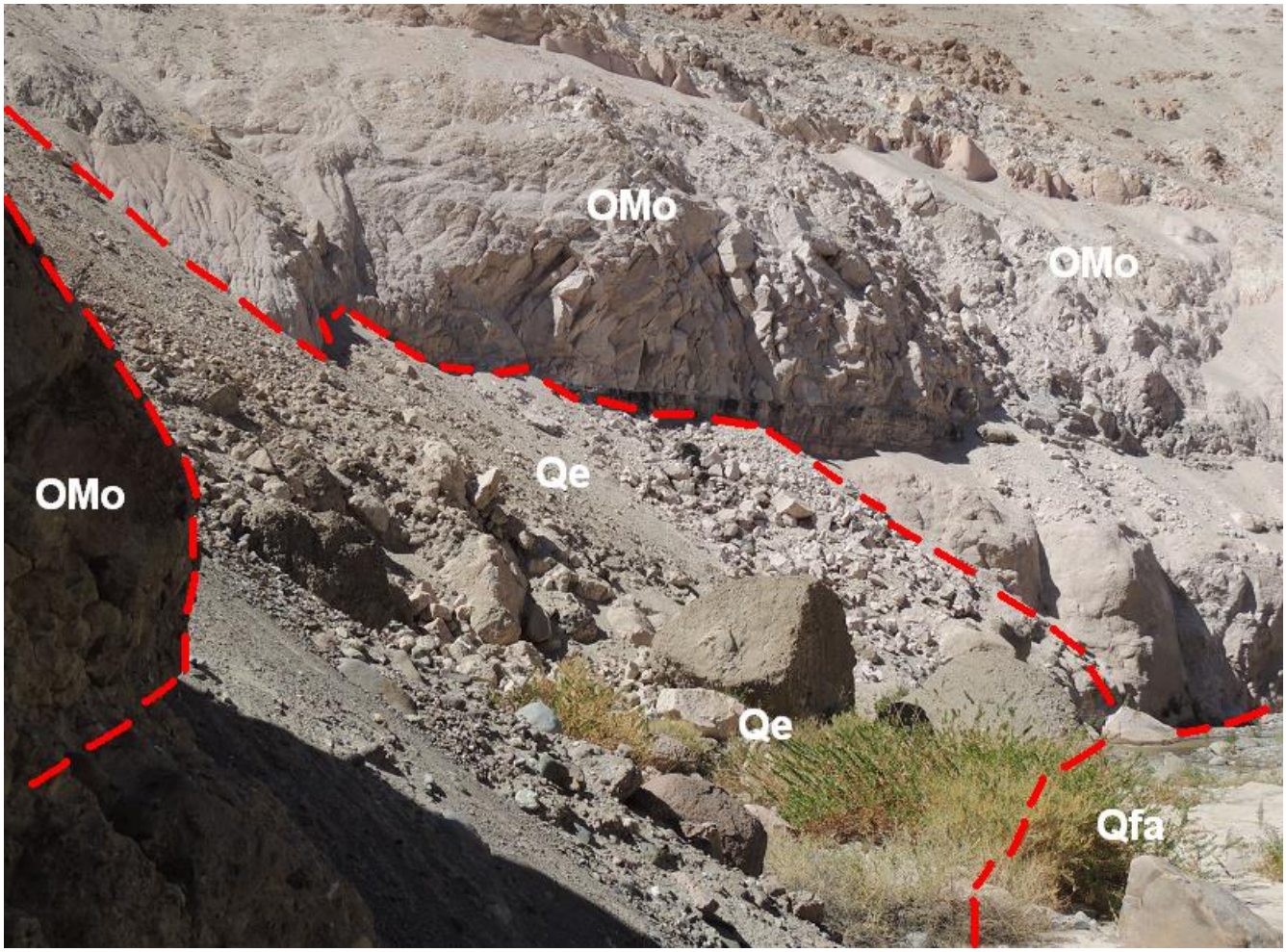



**Foto 13**.- Detalle de apoyo izquierdo de presa ALT2. En el sector dominan depósitos ignimbríticos que participan de una secuencia maciza a pobremente estratificada, subhorizontalmente, semiconsolidada, correlacionable con formación Oxaya, ***OMo***, en **Plano GEO-PTN-01**. En sectores, concordantes con la sección basal de la vertiente, dichos materiales se presentan discontinuamente enmantados, con espesores muy variables, por depósitos coluviales, y bloques sueltos, inestables, ***Qe***, en **Plano GEO-PTN-01**. ***Qfa*** = Depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales, (ripios, gravas y arenas), de la llanura de inundación.

En el sector, la llanura de inundación está conformada por depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales, que participarían de una secuencia maciza a pobremente estratificada de ripios, gravas, gravillas y arenas gruesas, con muy escasas intercalaciones lenticulares finas, cohesivas.

La secuencia granular que rellena el fondo de la quebrada de Aroma, se presenta suelta, inconsolidada, muy porosa y permeable, comprometiendo materiales con alta ripabilidad (removibles con equipo mecanizado).

El apoyo izquierdo de esta alternativa, compromete una secuencia sedimentaria geológicamente continua y homogénea, maciza a pobremente estratificada de tobas e ignimbritas, atribuidas a la formación Oxaya, ***OMo***, en **Fotos 12** y **13**, en **Plano GEO-PTN-01**.

Los señalados materiales rocosos se observan recorridos por un complejo patrón de fracturamiento ortogonal, que condiciona el recurrente desarrollo de remociones en masa: desprendimientos y/o deslizamientos de bloques equidimensionales, controlados por mecanismos de "cuñas"; carácter que crea un ambiente estructural bastante inestable. En sectores focalizados, la angulosidad y consiguiente favorable traba mecánica de los bloques sueltos, determina que algunos de ellos, permanezcan en la ladera en actual situación de equilibrio crítico.

En cambio, el entorno inmediato al emplazamiento del apoyo o estribo derecho de la presa de esta alternativa, está integrado por una potente secuencia maciza de depósitos granulares clastosoportados de tipo conglomerádico y de diversa forma y tamaño, correspondientes a la formación El Diablo, movilizados por un voluminoso deslizamiento multirrotacional, ***Qd***, Fotos **12 y 14**, en **Plano GEO-PTN-01**. Básicamente, se trata de rocas que resultan de la consolidación o litificación de agregados compuestos por clastos redondeados a subangulosos, con tamaños medios de 10 a 15 cm de diámetro, heterocomposicionales, (graníticos, volcánicos, volcanoclásticos y sedimentarios), densos, inalterados, muy resistentes. Los clastos están inmersos en una escasa matriz correspondiente a areniscas finas a medias, la que a su vez está cementada o "soldada por materiales arcillosos y/o calcáreos.

El carácter inestable de ambos apoyos de esta alternativa, condicionado por la presencia de materiales fracturados y/o desagregables, condicionaría la realización de complejas y costosas faenas de preparación previa de todas las fundaciones; incluyendo el forzado retiro mecanizado (faenas de "escarificado"), tanto de bloques en actual situación de equilibrio crítico, como de la cobertura de depósitos granulares sueltos de tipo coluvial, destinadas a exponer, en profundidad, materiales geomecánicamente competentes.

En este sitio, el carácter morfológico de la sección transversal de la quebrada de Aroma comprometida en el emplazamiento de la presa de esta alternativa, consignaría la mejor o más favorable relación volumen presa / volumen almacenamiento.

La necesidad de minimizar riesgos impuestos por el eventual desarrollo de adversos esfuerzos diferenciales, impuestos por la estructura de la presa sobre sus respectivos apoyos o estribos, forzará la adecuación del eje de la presa, a un trazado centralizada o normal a las laderas.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FOTO 14**

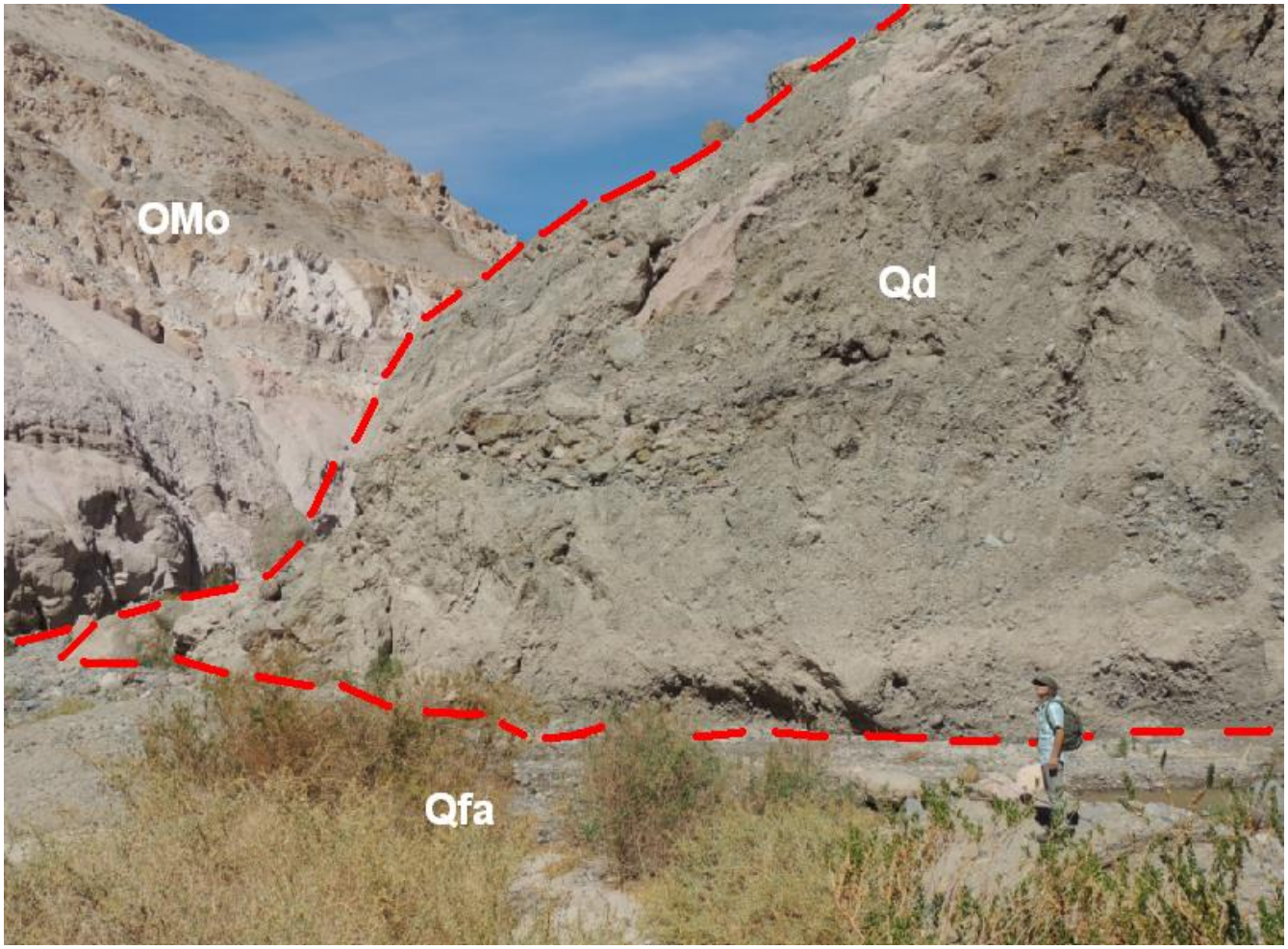



**Foto 14.-** Mayor detalle de apoyo derecho de ALT2, comprometiendo una compleja mezcla de bloques rocosos de diversa forma y tamaño, que participan de la sección distal de un voluminoso deslizamiento multirotacional, ***Qd***, en plano **GEO-PTN-1**.

## 4.3.6.3. Alternativa 3. *ALT3*, en Plano GEO-PTN-01.

En este sitio, la marcada continuidad geológica, estructural y geotécnica de los materiales (suelos y rocas) que participan del emplazamiento de la presa y obras anexas, mantienen las características y comportamientos descritos precedentemente para la ALT2.

La correlación se hace extensiva a la actual condición inestable de ambas laderas de la quebrada; sea como fuere, se estima que en este sector, los materiales removidos por actividad gravitacional histórica y moderna alcanzan mayores volúmenes, compatibles con

terrenos sometidos a mayores niveles de riesgos impuestos por proceso de remociones en masa.

La configuración morfológica de la quebrada desarrolla una sección transversal bastante simétrica, Foto 7, en Plano GEO-PTN-01.

Conforme a ello, el apoyo izquierdo compromete rocas ignimbríticas de la formación Oxaya, **Fotos 7**, **8** y **9**, en **Plano GEO-PTN-01**, mientras que en el apoyo derecho prevalecen depósitos conglomerádicos atribuibles a la formación Azapa, ***OMo*** y ***Oa***, respectivamente, en **Fotos 7** y **8**, en **Plano GEO-PTN-01**.

En torno al eje propuesto para esta alternativa, la secuencia ignimbrítica que participa del apoyo izquierdo, se observa recorrida por un complejo patrón de fracturamiento local; incluye elementos rectos, con corridas observables de 5 a 7 m, dispuestas a intervalos de 1,0 a 1,5 m, puntualmente abiertas, con relleno limoarenoso. En el pasado geológico, el señalado patrón de fracturamiento, ha favorecido el desarrollo de numerosos desprendimientos de bloques rocosos equidimensionales con diámetros máximos de 1,5 a 2,0 m, **Foto 7**, **8** y **9**, en **Plano GEO-PTN-01**.

Al igual que en la ALT2, el normal carácter semiconsolidado del basamento rocoso local (ignimbritas y conglomerados) determinaría que su remoción podría realizarse mediante el empleo de equipo mecanizado, "picotón". Se estima que sólo a profundidades superiores a los 8 a 10 m, tales actividades podrían demandar la aplicación de procedimientos de tronaduras; sea como fuere, en ambos casos, será posible la configuración de taludes estables del tipo 1:3 a 1:4 (H:V).

En torno al eje de esta alternativa, la quebrada de Aroma desarrolla una estrecha llanura de inundación (15 a 18 m de ancho), donde su actual cauce escurre adosado al pié de la vertiente derecha o norte.

El relleno del fondo de la quebrada incluye una compleja secuencia maciza a pobremente estatificada de depósitos granulares correspondientes a ripios, gravas y arenas, genéticamente asociadas a procesos de sedimentación fluvial a fluvioaluvial; se trata de depósitos con moderado a bajo grado de compacidad, por tanto sueltos, porosos y permeables, con alta ripabilidad, (remoción mecanizada), **Fotos 7** y 8, en **Plano GEO-PTN-01**.

Ambos márgenes de la llanura de inundación se observan discontinuamente enmantados por voluminosos acopios sueltos de bloques rocosos ignimbríticos y depósitos granulares sueltos de tipo coluvial, **Fotos 7** y **8**, en **Plano GEO-PTN-01**. La presencia de estos materiales asociados a permanentes remociones gravitacionales históricas y modernas, gatilladas por episodios pluviales de intensidad extrema y/o solicitaciones sísmicas, constituyen signos irrecusables de la actual dudosa inestabilidad de las laderas de la quebrada en el sector.

### 4.3.7. Referencias

**Ayala – Carcedo, F., J.** 1987**.** Introducción a los Riesgos Geológicos. Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero de España; p. 3 – 20. Madrid.

***García M; Gardeweg, M; Clavero J. y Hérail, G.*** 2004. Hoja Arica. Región de Tarapacá. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica. N° 84; Escala 1:250.000; 150 p. Santiago.
***Hauser, Y., A.*** 2000. Remociones en masa en Chile. (Versión actualizada). Servicio Nacional de Geología y Minería; Boletín N° 59; 89 p. Santiago.
***Montecinos, F.*** Observaciones de geología en el Cuadrángulo de Campanani de Arica. Provincia de Tarapacá. Memoria de título. Departamento de Geología. Universidad de Chile; 109 p. (inédito).
***Pacci, D***; ***Cáceres, R***, y ***Sayes, J***. 1980. Inventario de yacimientos metálicos y no metálicos. Primera Región de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas. Escala 1:250.000. Santiago. Inédito.
***SERNAGEOMIN***. Servicio Nacional de Geología y Minería. (2002). Carta geológica de Chile. Escala 1:1.000.000.

## *4.4. ANÁLISIS DE Recursos HIDRicos, Crecidas y Sedimentación*

### 4.4.1. Definición de Curvas

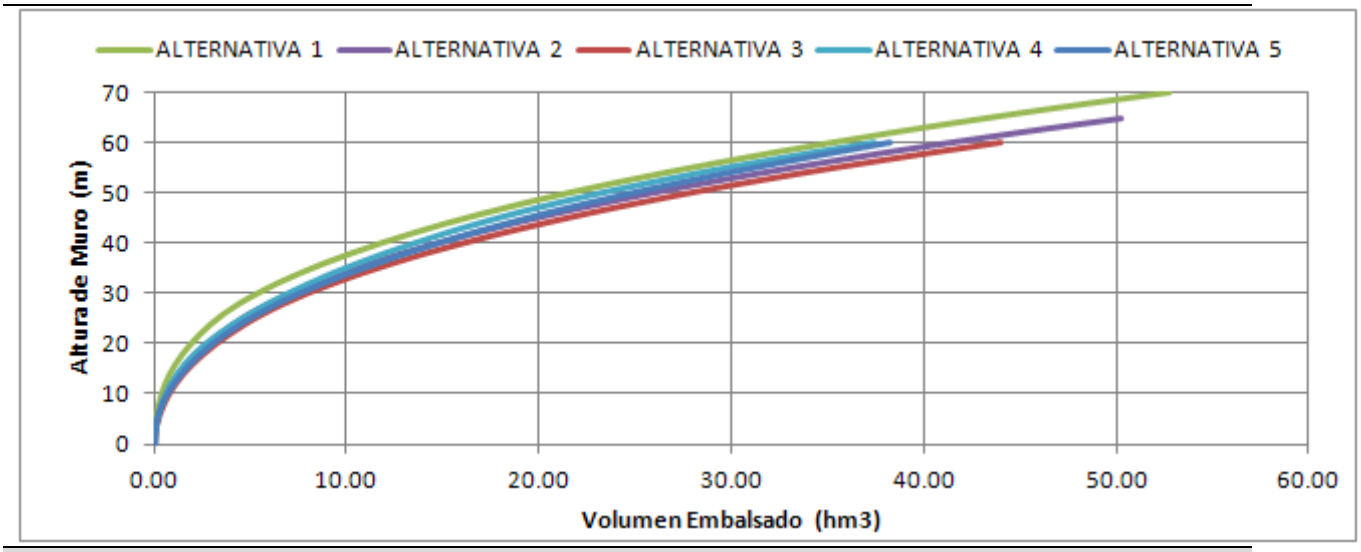
Las curvas características corresponden a aquellos gráficos que entregan el volumen embalsado en función de la altura de la presa, así como también la superficie inundada en función de esta altura. Por lo general, para este nivel de evaluación, sólo interesa la curva del volumen, sin embargo, dadas las características climáticas de la zona de estudio la superficie inundada adquiere relevancia por los altos niveles de evaporación y bajos valores de precipitación. En la Figura 4.4.1-1 se presentan las curvas correspondientes a las alternativas.
A simple vista se aprecia que las 5 alternativas poseen curvas similares. En la Curva de Altura de Muro v/s Volumen Embalsado, se observa que la ALT1 es la que presentan la mayor altura de muro para un volumen dado cualquiera, mientras que la ALT3 es la de menor altura; en el caso de la Curva Superficie Inundada v/s Volumen Inundado, la ALT 3 es la que posee mayor área inundada para un volumen dado cualquiera y la ALT5 la de menor superficie.

**FIGURA 4.4.1-1**
**CURVAS CARACTERÍSTICAS**

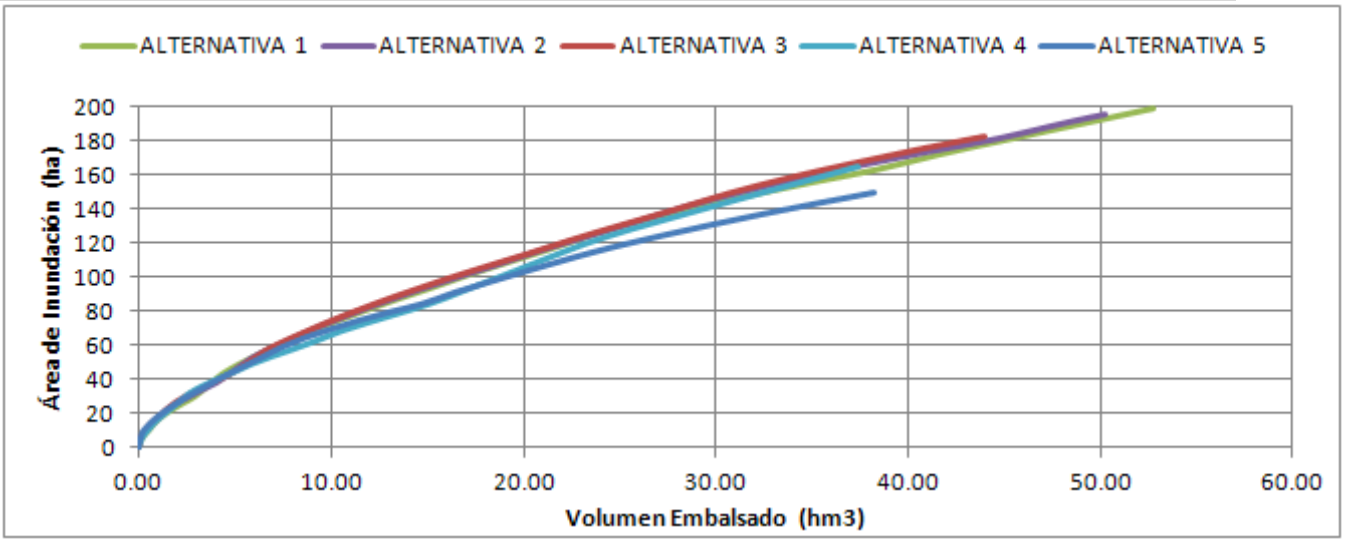
**Curvas de Altura v/s Volumen cinco Alternativas**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.4.1-1**
**CURVAS CARACTERÍSTICAS**




**Curvas Superficie Inundada v/s Volumen cinco Alternativas**




Fuente: Elaboración propia

## 4.4.2. Evaporación

A partir de las curvas definidas en el Acápite anterior y las características del sector del proyecto, se incluyó en el modelo de operación preliminar las pérdidas de volumen embalsado por efecto de la evaporación.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Este análisis se realizó para cada una de las alternativas de sitio de embalse. El Cuadro 4.4.2-1 muestra el valor de la evaporación mensual considerada para el modelo de operación preliminar.

**CUADRO 4.4.2-1**
**EVAPORACIÓN MENSUAL PRELIMINAR ADOPTADA PINTANANE**

| Mes | (mm/mes) | Mes | (mm/mes) |
|---|---|---|---|
| OCT | 208 | ABR | 178 |
| NOV | 222 | MAY | 162 |
| DIC | 231 | JUN | 155 |
| ENE | 216 | JUL | 155 |
| FEB | 209 | AGO | 169 |
| MAR | 201 | SEP | 187 |
| | | Anual (mm/año) | 2.293 |

Fuente: Elaboración Propia.

## 4.4.3. Descripción General del Área de Estudio

### 4.4.3.1. Aspectos Generales

Para caracterizar cada alternativa de ubicación de embalse desde el punto de vista geomorfológico se consideró la información proporcionada por el modelo de elevación digital GDEM- ASTER, con 90 m de resolución. El modelo de elevación digital (DEM) fue obtenido en la página de la NASA y del Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) denominado ASTER-GDEM, dichas mediciones fueron recogidas por el instrumento radiométrico ASTER (Japón), que se encuentra a bordo del satélite TERRA (NASA), y se puede descargar libremente de la página http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/.
Esta información se procesó en una plataforma SIG con tal de delimitar cada cuenca y obtener los principales parámetros geomorfológicos, dicha delimitación se realizó en GRASS-GIS. En el Cuadro 4.4.3.1-1 y en la Figura 4.4.3.1-1 se muestra el resumen de los parámetros obtenidos para cada alternativa y la delimitación de cada cuenca.
En el Cuadro 4.4.3.1-1 se muestra el área, largo del cauce, pendiente media ($S_{med}$), altura mínima ($H_{min}$), altura máxima ($H_{max}$), altura media ($H_{med}$) y el desnivel máximo de cotas en cada cuenca.

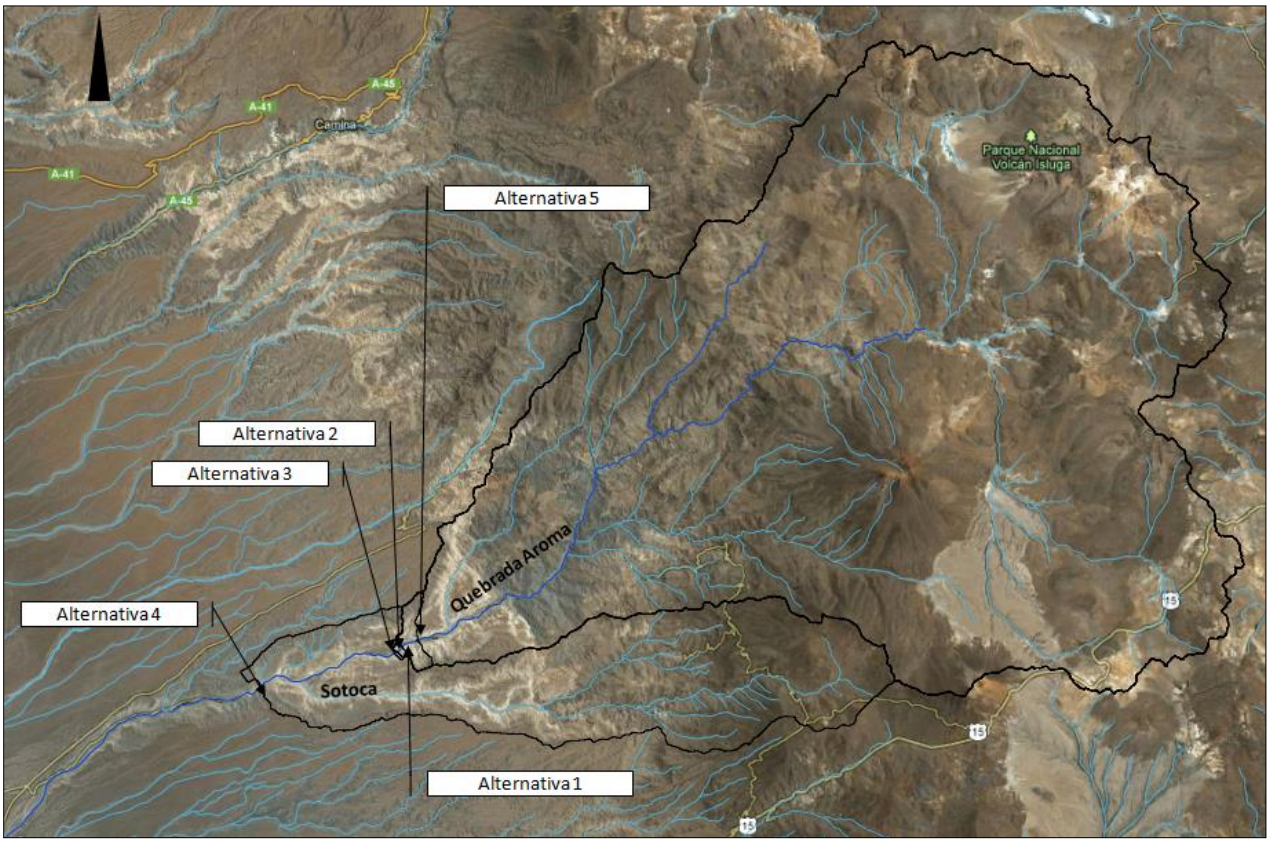

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 4.4.3.1-1
## DESCRIPCIÓN GEOMORFOLOGICA DE CADA ALTERNATIVA

| Alternativa | Área (km²) | Largo Cauce (km) | Smed (%) | Hmin (msnm) | Hmax (msnm) | Hmed (msnm) | Desnivel Máximo (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ALT1 | 1.231 | 54,8 | 26 | 1.932 | 5.224 | 3.818 | 3.292 |
| ALT2 | 1.231 | 55,2 | 26 | 1.929 | 5.224 | 3.818 | 3.295 |
| ALT3 | 1.231 | 55,4 | 26 | 1.919 | 5.224 | 3.818 | 3.305 |
| ALT4 | 1.456 | 63,7 | 27 | 1.714 | 5.224 | 3.687 | 3.510 |
| ALT5 | 1.226 | 53,8 | 26 | 1.950 | 5.224 | 3.825 | 3.274 |

Fuente: Elaboración Propia.

## FIGURA 4.4.3.1-1
## DELIMITACIÓN DE CUENCAS APORTANTES A CADA ALTERNATIVA





Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que el área aportante a las Alternativas 1, 2, 3 y 5, es similar, mientras que la Alternativa 4 presenta mayor diferencia debido a que se ubica aguas abajo de la Quebrada de Sotoca, que se considera como una cuenca aportante adicional en la Alternativa 4. A pesar que durante gran parte del año la Quebrada de Sotoca no presenta aportes continuos superficiales a la Quebrada Aroma sí cabe destacar que alcanza una altura máxima no despreciable (4.629msnm) si se consideran los aportes de precipitación que se generan en la zona alta producto del Invierno Altiplánico.

### 4.4.3.2. Recopilación de Antecedentes Relevantes para el Estudio Hidrológico

La única subcuenca de la Hoya de la Pampa del Tamarugal que cuenta con registros fluviométricos y pluviométricos de larga data corresponde a la Quebrada de Tarapacá, por lo que la estimación para las otras quebradas siempre se ha realizado en forma indirecta en base a los registros de esta subcuenca.

La recopilación de estudios de los recursos hídricos superficiales que se consideraron de importancia para el presente informe corresponde a los siguientes:

- Metodología para la estimación de recarga de cuencas altiplánicas y precordilleranas de vertiente pacífica en el norte de Chile, XV, I, II y III regiones / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, GCF Ingenieros Limitada. GCF Ingenieros Consultores, Dirección General de Aguas. División de Estudios y Planificación. GCF-DGA, 2010.

- Estudio de Impacto Ambiental Pampa Hermosa Actualización De La Estimación De La Recarga Acuíferos De Pampa Del Tamarugal Y Llamara. Informe Técnico SQM S.A. preparado por DICTUC, 2006.

- "The Study on the Development of Water Resources in Northern Chile", Japan. International Cooperation Agency, JICA, 1994.

- "Modelo de Simulación Hidrogeológico de la Pampa del Tamarugal", Cabrera y otros, Centro de Recursos Hidráulicos del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile preparado para la Dirección General de Aguas, UCH-DGA, 1988.

Las principales quebradas afluentes a la Pampa del Tamarugal fueron estudiadas por los diferentes estudios mencionados (DICTUC, 2006; JICA, 1994; UCH-DGA 1988) en los que se buscó definir su aporte como entrada al acuífero de la Pampa del Tamarugal.

En el estudio de UCH-DGA 1988, Cabrera utiliza la información del Balance Hídrico de Chile, DGA 1987, el que presenta valores estimados en forma indirecta a través de balance. En el Cuadro 4.4.3.2-1 se muestra un resumen con la escorrentía estimada por el Balance DGA, 1987.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 4.4.3.2-1
## BALANCE QUEBRADAS AFLUENTES A LA PAMPA DEL TAMARUGAL BHCH, 1987

| Cuenca | Superficie (km²) | Pp (mm/año) | Escorrentía (mm/año) | Escorrentía (L/s) |
|---|---|---|---|---|
| Qda. de Aroma | 1.481 | 124 | 5,3 | 252 |
| Qda. de Tarapacá | 1.644 | 145 | 7,5 | 396 |
| Qda. de Quipisca | 716 | 102 | 4,7 | 108 |
| Qda. Juan de Morales | 753 | 108 | 4,2 | 102 |
| Qda. de Chacarilla | 1.297 | 129 | 3,2 | 133 |
| Qda de Ramada y Cahuisa | 414 | 75 | 0,8 | 11 |
| Total Aportes | 6.305 | 123 | 4,9 | 993 |

Fuente: BHCH, 1987.

En el estudio realizado por la JICA 1994 se estimó, mediante un análisis regional, un coeficiente de escorrentía superficial. De tal forma que se asignó a cada quebrada un valor indirecto de escorrentía. En el Cuadro 4.4.3.2-2 se muestra el coeficiente y caudal estimado para cada Quebrada afluente a la Pampa del Tamarugal.

## CUADRO 4.4.3.2-2
## ESCORRENTÍA EN QUEBRADAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL JICA, 1994

| Cuenca | Superficie (km²) | Pp (mm/año) | Coeficiente de Escorrentía | Escorrentía (L/s) |
|---|---|---|---|---|
| Qda. de Aroma | 1.746 | 102 | 0,055 | 310 |
| Qda. de Tarapacá | 1.716 | 104 | 0,056 | 318 |
| Qda. de Quipisca | 846 | 82 | 0,041 | 89 |
| Qda. de Sagasca | 971 | 71 | 0,033 | 72 |
| Qda. de Quisma | 298 | 70 | 0,032 | 21 |
| Qda de Chacarilla | 1.221 | 89 | 0,046 | 159 |
| Qda. de Ramada | 244 | 49 | 0,016 | 7 |
| Total Aportes | 7.042 | 123 | - | 976 |

Fuente: JICA, 1994.

En el estudio realizado por DICTUC 2006, Pampa Hermosa, se ajustó un modelo de simulación hidrológica a la cuenca de la Quebrada de Tarapacá y se estimaron parámetros representativos por Banda de Elevación. Estos parámetros se utilizaron para generar valores de escorrentía y recarga en aquellas quebradas sin información. En el Cuadro 4.4.3.2-3 se muestra el resumen de los resultados obtenidos de ese estudio.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 4.4.3.2-3**
**CAUDALES Y RECARGA DE QUEBRADAS SEGÚN DICTUC, 2006**

| Cuenca | Superficie (km²) | Pp (mm/año) | Caudal Superficial (L/s) | Recarga (L/s) |
|---|---|---|---|---|
| Qda. de Aroma y Otras | 2.044 | 99 | 258 | 273 |
| Qda. Tarapacá | 1.599 | 140 | 331 | 295 |
| Qda. de Quipisca y J. Morales | 1.602 | 70 | 134 | 110 |
| Qda. de Quisma | 709 | 49 | 27 | 24 |
| Qda. de Chacarilla | 1.550 | 87 | 111 | 168 |
| Qda. de Ramada y Chipana | 472 | 31 | 8 | 10 |

Fuente: JICA, 1994.

De esta manera se han aplicado distintas estrategias para modelar los caudales de las cuencas afluentes a la Pampa del Tamarugal. La primera estrategia corresponde a la diferencia por balance, aplicada en BHCH, 1987, luego una estimación indirecta mediante el coeficiente de escorrentía a nivel regional realizado por la JICA, 1994, y finalmente la modelación hidrológica mediante ajuste de parámatelos realizada por DICTUC, 2006. En el caso de la Quebrada de Aroma, se han estimado caudales medios que varían entre 252 L/s y 310 L/s, mientras que la precipitación media anual se estima entre 99 mm y 124 mm.

## 4.4.4. Pluviometría

## 4.4.4.1. Información Disponible

En el Cuadro 4.4.4.1-1 se muestran el listado de estaciones pluviométricas, mientras que en la Figura 4.4.4.1-2 aparece la ubicación de cada una, junto a la quebrada de Aroma y quebrada de Tarapacá. La única estación con información al interior de la quebrada de Aroma corresponde a Chiapa, con inicio durante enero del año 2012. En la Figura 6.3.2.1-1 se muestra el diagrama de barras con la disponibilidad de información de precipitación mensual en las estaciones consideradas. En el Anexo 4-2 Información Pluviométrica Mensual se muestra la estadística de precipitación mensual recopilada.

**CUADRO 4.4.4.1-1**
**ESTACIONES PLUVIOMETRICAS**

| BNA | Nombre | Este (m) | Norte (m) | Inicio | Estado |
|---|---|---|---|---|---|
| 01700010-1 | Huara | 421.414 | 7.775.032 | nov-92 | Vigente |
| 01730015-6 | Pampa Lirima – DCP | 514.433 | 7.814.275 | oct-82 | mar-84 |
| 01041003-7 | Colchane (Tte. Isluga) | 537.721 | 7.869.016 | dic-75 | Vigente |
| 01041004-5 | Enquelca (Ex Caraguano) | 520.377 | 7.873.440 | ene-85 | Vigente |

## CUADRO 4.4.4.1-1
## ESTACIONES PLUVIOMETRICAS

| BNA | Nombre | Este (m) | Norte (m) | Inicio | Estado |
|---|---|---|---|---|---|
| 01730017-2 | Poroma | 481.001 | 7.802.808 | abr-68 | Vigente |
| 01730020-2 | Chuzmisa | 480.086 | 7.823.847 | dic-88 | Vigente |
| 01740001-0 | Parca | 478.541 | 7.786.779 | dic-77 | Vigente |
| 01740002-9 | Cerro Colorado | 471.131 | 7.781.548 | ene-93 | Vigente |
| 01610003-K | Pumire | 488.162 | 7.888.256 | ene-62 | oct-91 |
| 01611001-9 | Camiña | 455.490 | 7.864.947 | ene-71 | Vigente |
| 01720006-2 | Chiapa | 478.480 | 7.839.717 | ene-12 | Vigente |

Fuente: BNA-DGA

## FIGURA 4.4.4.1-1
## DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN PLUVIOMETRICA

| Estación | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chuzmiza | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | π | π |
| Pampa Lirima | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | X | X | X | π | X | X | 0 | |
| Colchane | | | | | | | | | | | | | | | | Δ | | Δ | X | X | X | X | X | π | X | X | X | X | X | X |
| Enquelca | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Δ | X | X | X | X | π |
| Poroma | | | | | | | | 0 | 0 | | | | | | 0 | π | 0 | Δ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Parca | | | | | | | | | | | | | | | | | | π | X | π | π | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Cerro Colorado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pumire | | Δ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | π | X | X | π | X | X | X | X | X | X | X | 0 | 0 |
| Camiña | | | | | | | | | | | Δ | π | 0 | Δ | Δ | π | 0 | 0 | 0 | X | X | X | π | X | X | 0 | | 0 | π | X |
| Chiapa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Leyenda Meses con Información
X = 12 π > 10 Δ > 7 0 < 7

### CONTINUACIÓN

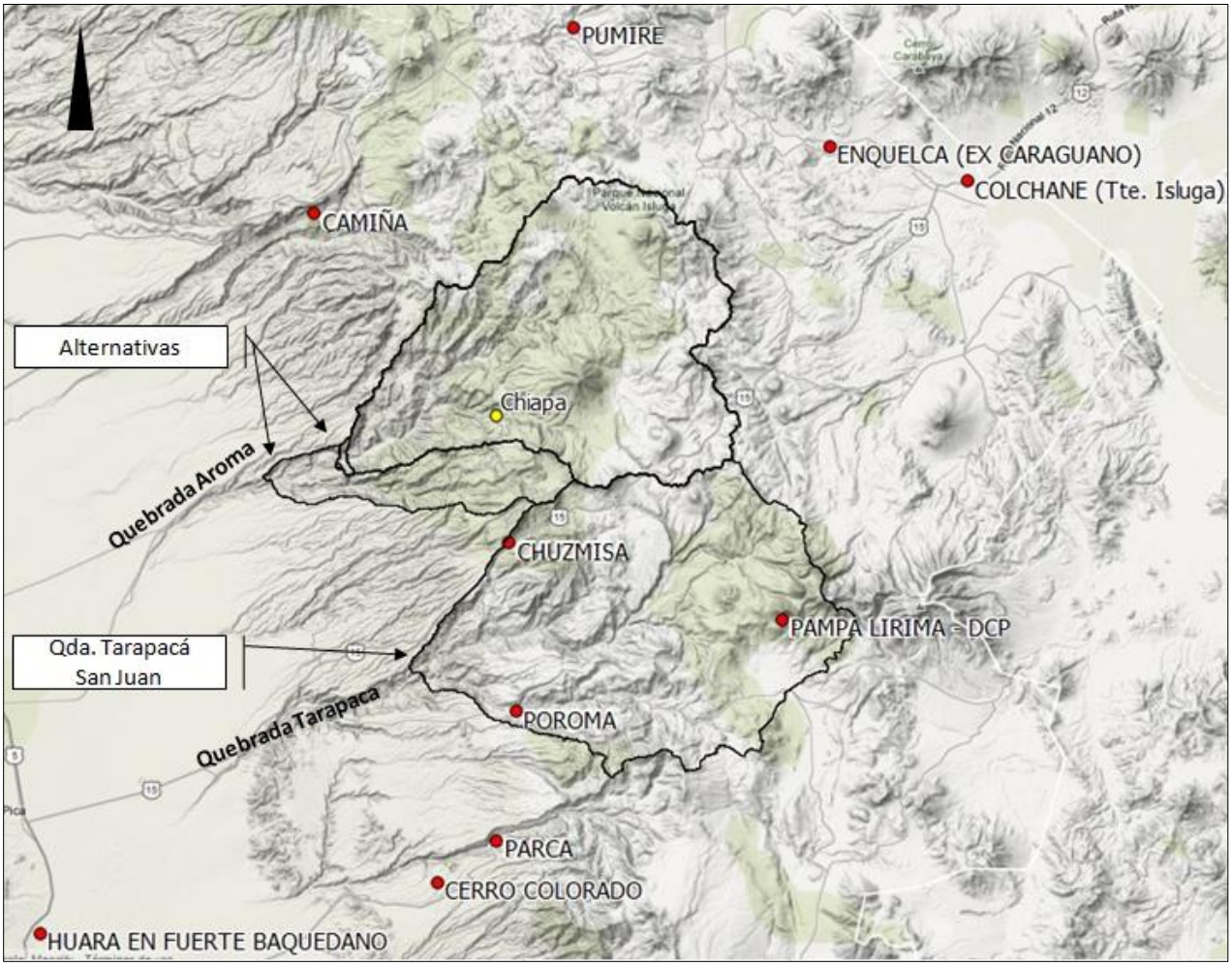
| Estación | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chuzmiza | Δ | π | π | X | X | X | Δ | π | π | Δ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | π |
| Pampa Lirima | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Colchane | π | π | π | X | X | π | Δ | X | X | π | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | π |
| Enquelca | X | 0 | | | | Δ | X | π | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | π |
| Poroma | X | X | X | X | X | X | π | π | X | π | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | π | π |
| Parca | X | π | Δ | X | X | X | X | π | X | π | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | Δ |
| Cerro Colorado | | | 0 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | π | X | π | π | π |
| Pumire | π | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Camiña | X | X | π | π | X | X | X | Δ | X | π | X | X | X | X | X | X | X | π | X | X | π | π |
| Chiapa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Δ |

Leyenda Meses con Información
X = 12 π > 10 Δ > 7 0 < 7

Fuente: Elaboración Propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.4.4.1-2**
**UBICACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS**




Fuente: Elaboración Propia.

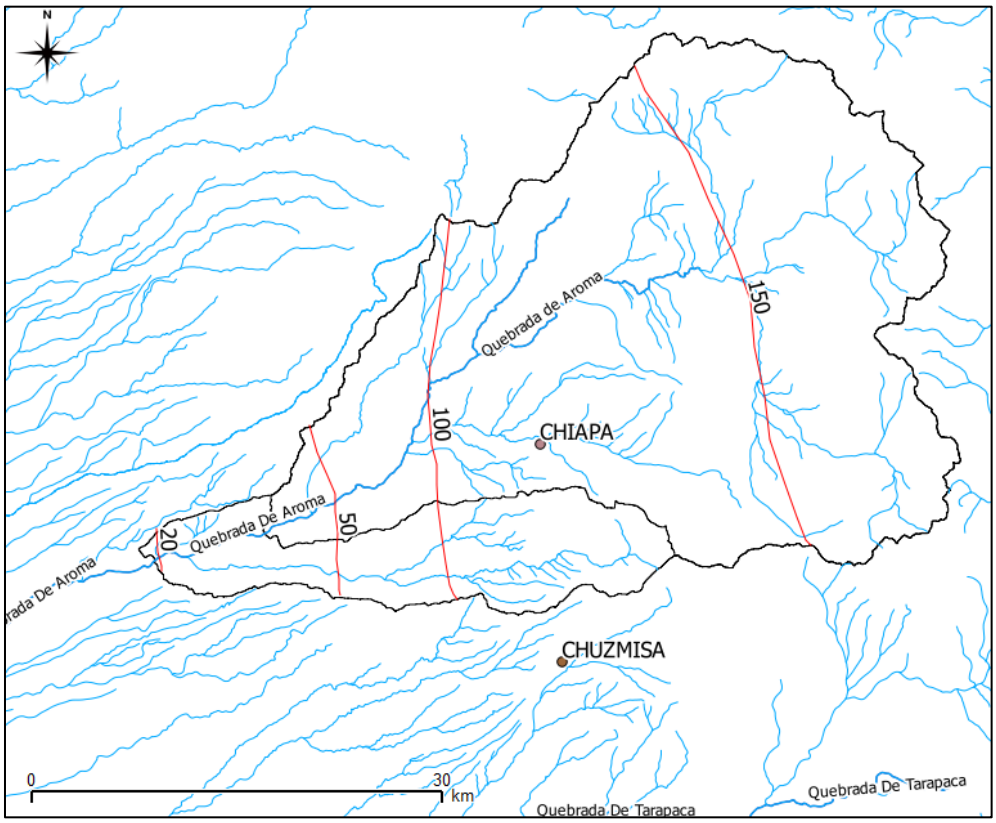
En la Figura 4.4.4.1-3 se muestran las isoyetas de precipitación medias anuales obtenidas en el estudio "Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, regiones XV, I, II Y III, etapa 2", informe final partes VIII, IX Y X, Noviembre 2009. Las isoyetas muestran un aumento de la precipitación con la altura, en la que se estima un máximo medio anual de 140 mm.

Las isoyetas muestran un aumento de la precipitación con la altura, en la que se estima un máximo medio anual de 140 mm. Para la Quebrada de Sotoca se estima un máximo de 120


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

mm en la zona de mayor altura. Se debe considerar que la variabilidad interanual de las precipitaciones en esta zona presenta comportamientos extremos, con años secos y muy húmedos, por lo que se debe tener en cuenta esta variabilidad propia de las series hidrológicas en la zona.

**FIGURA 4.4.4.1-3**
**ISOYETAS DE PRECIPITACIÓN ANUAL EN QUEBRADA AROMA**




Fuente: Elaboración Propia a partir de estudio DICTUC, 2008.

## 4.4.4.2. Extensión y Relleno de Precipitación Mensual

Las series de precipitación mensual incompletas se rellenaron y extendieron con el objeto de lograr una mejor estimación de los valores característicos de largo plazo registrados en cada estación. Para la transferencia de información hidrometeorológica se utilizó la metodología de relleno presentada en detalle en la Revista SOCHID Vol. 10, Fernández B. y Salas J., 1995, que ha sido ampliamente utilizada en estudios hidrológicos. La ventaja de este método es que preserva la variabilidad natural que existe originalmente entre ambas series,


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

y no ve afectado su coeficiente de determinación inicial al utilizar directamente el relleno mediante correlación lineal simple. El modelo de regresión se corrige con una variable aleatoria que permite preservar los parámetros estadísticos de cada serie, según la expresión:

$$Y_1 = \alpha \cdot Y_2 + \beta + \sqrt{1 - R^2} \cdot \varepsilon \cdot S_Y$$

Donde:

$Y_1$: corresponde a la variable que se desea rellenar
$Y_2$: corresponde a la variable que se utilizará para rellenar la estadística de $Y_1$
$\alpha$: pendiente de la regresión entre la variable $Y_1$ e $Y_2$
$\beta$: coeficiente de intersección de la regresión entre la variable $Y_1$ e $Y_2$
$R^2$: coeficiente de determinación de la regresión entre la variable $Y_1$ e $Y_2$
$\varepsilon$: error aleatorio asociado a una distribución normal con media 0 y desviación estándar igual a 1
$S_Y$: desviación estándar de la serie $Y_1$ original

La metodología se puede utilizar para rellenar directamente las series de precipitación, o bien utilizar variables transformadas para aquellas series que poseen asimetría negativa o positiva, o una alta variabilidad de valores extremos. La naturaleza de las precipitaciones en la zona corresponde a valores con tendencias extremas, esto significa, años con muy secos y años muy húmedos respecto al valor medio de las precipitaciones.
Generalmente cuando se tienen variables con distribuciones de frecuencias con asimetría negativa (frecuencias altas hacia el lado derecho de la distribución) para valores muy altos o muy bajos, es conveniente aplicar una transformación de variable. Las transformaciones más clásicas corresponden a $\sqrt{x}\sqrt{}$x, Ln (x) y 1/x, que comprimen los valores altos y expanden los pequeños. En este caso en particular, el relleno se aplicó en la variable transformada con la raíz cuadrada de la serie original.

$Y_1$ = V. Transformada = $\sqrt{Pp_1}$

Donde $Y_1$ corresponde a la variable transformada a rellenar y $Pp_1$ al valor de la precipitación registrada por la estación 1. Posteriormente, se rellenó la serie estadística $Y_1$ y luego se transformó en la serie original.

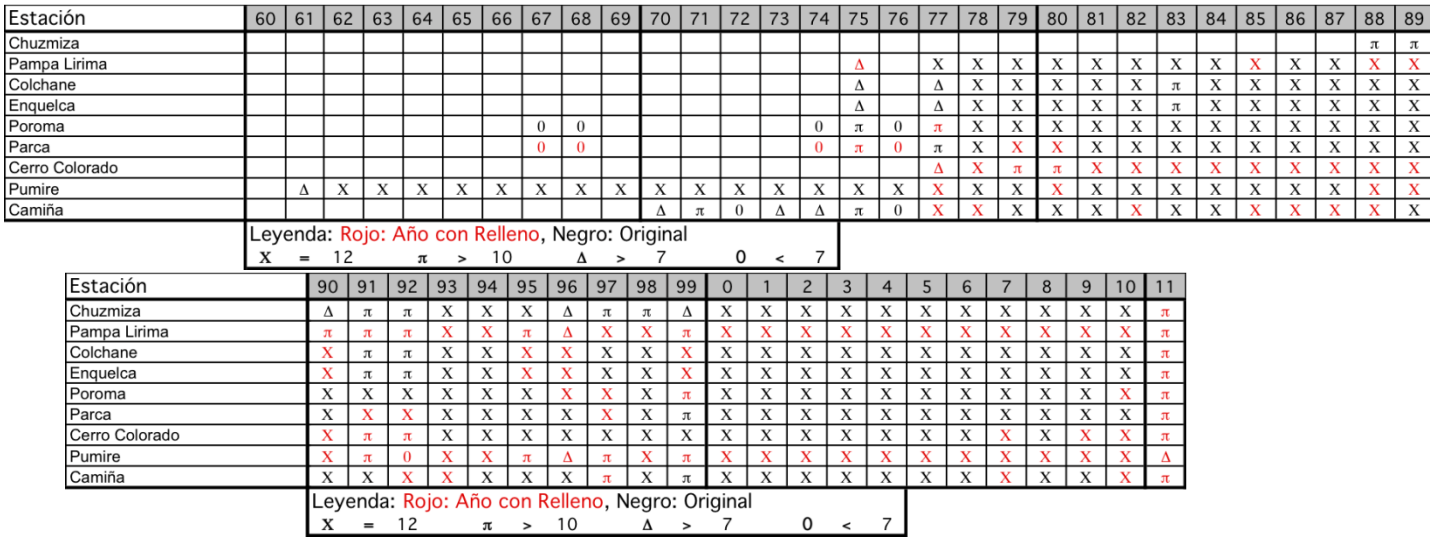
En la Figura 4.4.4.2-1 se muestra un resumen de la serie rellenada. En el Anexo Digital 4-2 se muestra en detalle el relleno de las precipitaciones mensuales mediante el método descrito anteriormente.

En el Cuadro 4.4.4.2-1 se muestra el resumen de la serie de precipitación, tanto en su forma original como rellenada y en la Figura 4.4.4.2-2 sus estadígrafos.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 4.4.4.2-1
## DIAGRAMA DE BARRAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS
## MESES CON INFORMACIÓN RELLENADA




Fuente: Elaboración Propia.

## CUADRO 4.4.4.2-1
## RESUMEN DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL Y DESVIACIÓN MENSUAL

| Estación | Pp Media (mm) | | Desviación (mm) | | Coeficiente $R^2$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Orig. | Rell. | Orig. | Rell. | Orig. | Rell. |
| Chuzmiza | 13,0 | 13,0 | 43,6 | 43,6 | 0,638 | 0,637 |
| Pampa Lirima | 9,5 | 10,1 | 22,0 | 21,0 | 0,783 | 0,821 |
| Colchane | 10,7 | 10,6 | 24,6 | 24,4 | 0,712 | 0,794 |
| Enquelca | 10,2 | 9,5 | 22,7 | 21,4 | 0,712 | 0,812 |
| Poroma | 3,9 | 3,9 | 12,2 | 12,1 | 0,689 | 0,690 |
| Parca | 2,5 | 2,6 | 8,3 | 8,3 | 0,689 | 0,708 |
| Cerro Colorado | 1,7 | 1,5 | 5,5 | 4,5 | 0,580 | 0,601 |
| Pumire | 19,9 | 14,5 | 49,4 | 39,1 | 0,617 | 0,619 |

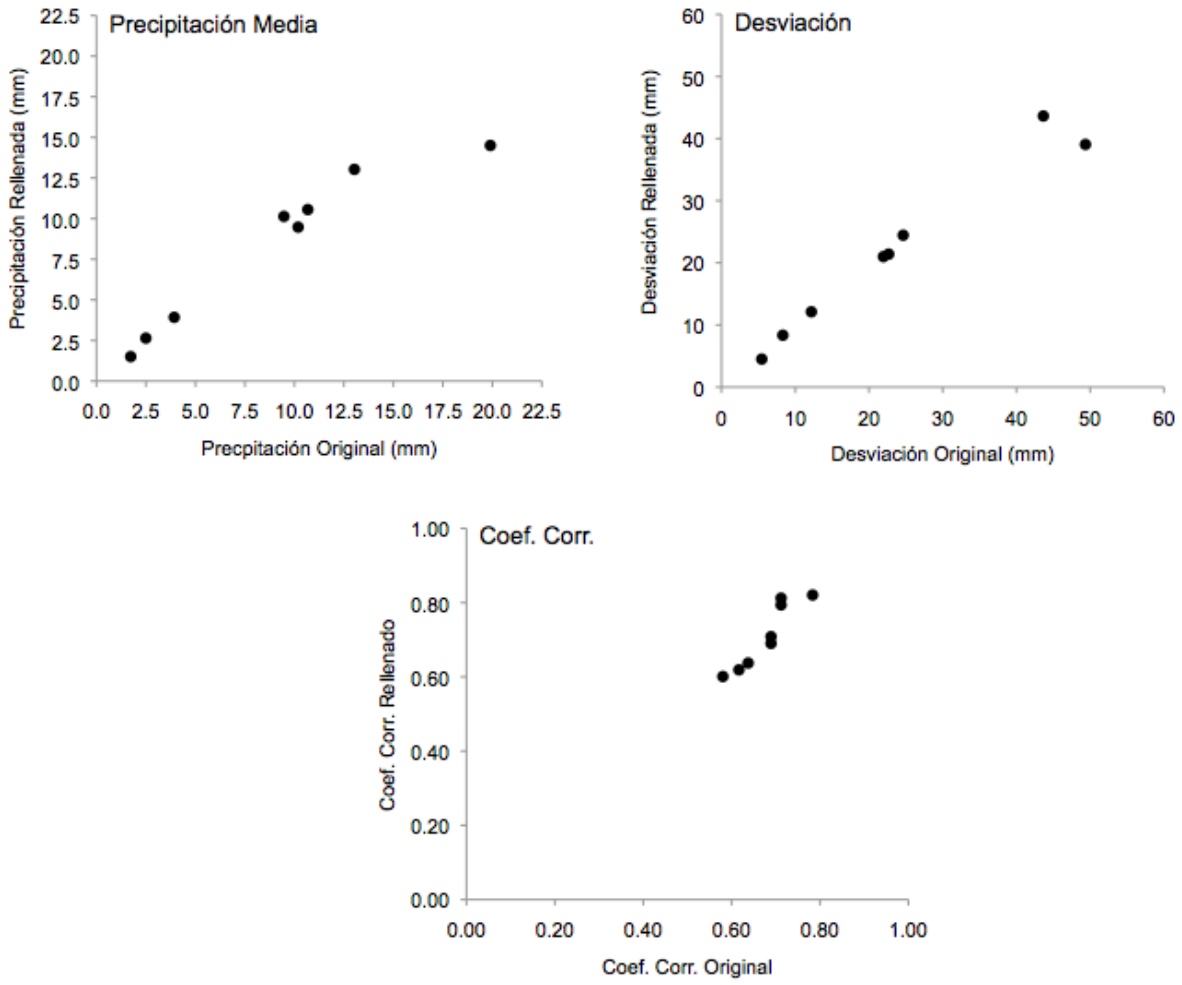
Fuente: Elaboración Propia.

Si bien no fue posible rellenar y extender la información de la estación Chiapa, debido a su corta longitud de registro, se comparó en los eventos de precipitación registrados durante

los años 2012 y 2013. En la Figura 4.4.4.2-3 se muestra la precipitación acumulada para tres tormentas registradas en la estación de Chiapa al interior de Quebrada de Aroma y la distancia desde la Chiapa hasta las estaciones pluviométricas más cercanas.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.4.4.2-2**
**ESTADIGRAFOS DE SERIES RELLENADAS VS ORIGINALES**




Fuente: Elaboración Propia.

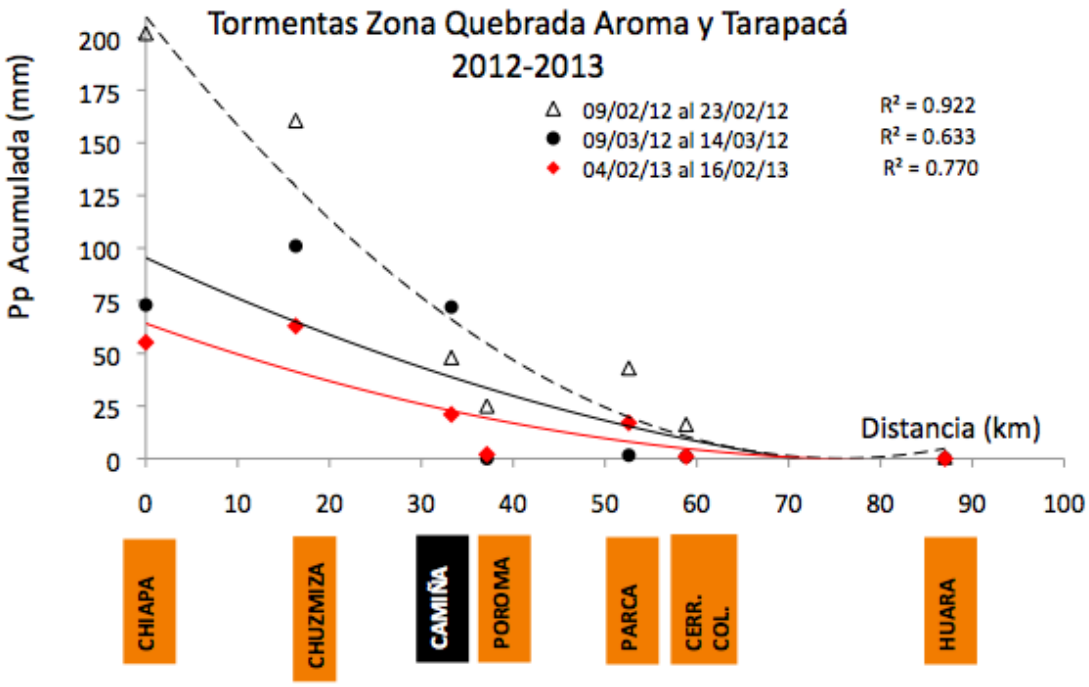
Las estaciones Chiapa y Chuzmiza registraron similar cantidad de precipitación para los tres eventos considerados, esto debido a que se ubican a una altura relativamente parecida. Por otra parte al comparar con respecto a las otras estaciones se observa un decaimiento espacial de la precipitación, en la Figura 4.4.4.2-3 se trazó de forma tentativa una curva de decaimiento polinómica, similar al decaimiento de zonas con eventos convectivos concentrados espacialmente.

En la Figura 4.4.4.2-4 se muestra el grafico de precipitación versus altura para los tres eventos de tormenta registrados durante el mismo periodo anterior. Se observa un gradiente


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

importante, entre 7,9 mm a 19,9 mm cada 100 m de altura. La altura en la que la precipitación se considera nula se puede estimar en 2.500 msnm.

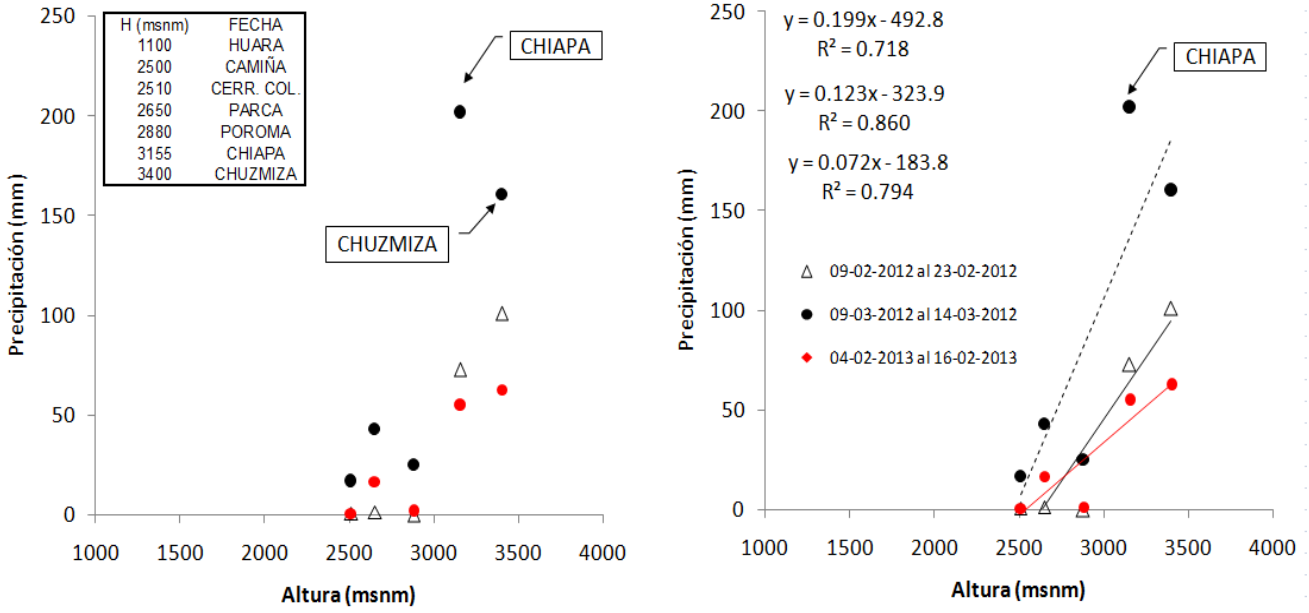
**FIGURA 4.4.4.2-3**
**TORMENTAS 2012-2013**




Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.4.4.2-4**
**PRECIPITACIÓN VS ALTURA 2012-2013**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Elaboración Propia.

Para los tres eventos de tormenta registrados durante el periodo 2012-2013 se observa una similitud entre la estación de Chiapa y Chuzmiza:

Chiapa (3.155 msnm) : 330 mm
Chuzmiza (3.400 msnm) : 325 mm

A pesar que la extensión de los registros de Chiapa aún es muy reciente de todas maneras entrega resultados que permiten adoptar esta serie como homologable a la precipitación de Chiapa, con la información disponible hasta el periodo más actual 2011/12. En base a esto para estimar la precipitación espacial media anual en la Quebrada de Aroma se corrigió el valor registrado por Chuzmiza en base a la precipitación anual de las Isoyetas generadas por el DICTUC, 2008, y la estimación puntual en la estación mediante la siguiente expresión:

$Pp_{Alti} = Pp_{Chuzmiza} * Pp_{MediaIsoyetas} / Pp_{ChuzmizaIsoyetas}$

Donde:

$Pp_{Alt\,i}$ : Precipitación Anual para la Alternativa i (mm)
$Pp_{Chuzmiza}$ : Serie Precipitación Anual Chuzmiza (mm)
$Pp_{MediaIsoyetas}$: Precipitación Media Espacial para cada Alternativa (mm)
$Pp_{Chuzmiza}$: Precipitación Media Anual estimada de las Isoyetas (mm)

La precipitación media se estimó a partir de las Isoyetas presentadas en la Figura 4.4.4.1-3. Como resultado se obtuvo 122 mm para las Alternativas 1, 2, 3 y 5, mientras que para la Alternativa 4 corresponde a 115 mm. En el Cuadro 4.4.4.2-2 se muestra la precipitación media anual para cada alternativa, considerando la serie corregida de Chuzmiza hasta el periodo más reciente 2011/12.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 4.4.4.2-2**
**PRECIPITACIÓN ANUAL EN DISTINTAS ALTERNATIVAS Q. AROMA**

| Año Hidrológico | $Pp_{Chuzmiza}$ | $PpAlt_{1,2,3y5}$ | $PpAlt_4$ | Año Hidrológico | $Pp_{Chuzmiza}$ | $PpAlt_{1,2,3y5}$ | $PpAlt_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1988/89 | 73 | 74 | 71 | 2001/02 | 144 | 147 | 140 |
| 1989/90 | 42 | 43 | 41 | 2002/03 | 23 | 23 | 22 |
| 1990/91 | 33 | 34 | 32 | 2003/04 | 67 | 68 | 65 |
| 1991/92 | 0 | 0 | 0 | 2004/05 | 135 | 137 | 132 |
| 1992/93 | 106 | 108 | 103 | 2005/06 | 171 | 173 | 166 |
| 1993/94 | 5 | 5 | 4 | 2006/07 | 71 | 72 | 69 |
| 1994/95 | 63 | 64 | 61 | 2007/08 | 175 | 178 | 171 |
| 1995/96 | 52 | 53 | 51 | 2008/09 | 10 | 10 | 10 |
| 1996/97 | 309 | 314 | 301 | 2009/10 | 12 | 12 | 12 |
| 1997/98 | 77 | 78 | 75 | 2010/11 | 251 | 255 | 244 |
| 1998/99 | 612 | 622 | 596 | 2011/12 | 465 | 472 | 453 |
| 1999/00 | 81 | 82 | 78 | $Pp_{Media}$ | 143 | 145 | 139 |
| 2000/01 | 453 | 460 | 441 | Desviación | 163 | 166 | 159 |

Fuente: Elaboración Propia.

## 4.4.4.3. Precipitación Máxima

En base a las estaciones con registros pluviométricos se realizó un ajuste de frecuencia para obtener las precipitaciones máximas asociada a distintos periodos de retorno, tal como se muestra en el Cuadro 4.4.4.3-1.

**CUADRO 4.4.4.3-1**
**PRECIPITACIÓN MÁXIMA ASOCIADA A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO (mm)**

| Periodo | Poroma | P. Lirima | Chuzmiza | Parca | C. Colorado | Camina | Pumire | Colchane | Enquelca |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 19,3 | 19,7 | 34,3 | 12,6 | 12,1 | 18,1 | 30,0 | 24,5 | 19,4 |
| 10 | 24,1 | 26,0 | 43,2 | 16,4 | 16,3 | 26,6 | 39,5 | 28,9 | 24,4 |
| 20 | 28,7 | 32,7 | 51,6 | 20,1 | 20,3 | 35,3 | 49,5 | 32,7 | 29,4 |
| 50 | 34,3 | 42,4 | 62,2 | 24,7 | 25,4 | 46,9 | 63,9 | 37,4 | 36,3 |
| 100 | 38,5 | 50,4 | 69,9 | 28,2 | 29,2 | 55,7 | 75,8 | 40,6 | 41,8 |
| 1.000 | 51,7 | 81,8 | 94,6 | 39,3 | 41,7 | 85,3 | 122,0 | 50,4 | 62,0 |
| 10.000 | 64,4 | 121,8 | 118,4 | 50,1 | 54,0 | 115,0 | 180,7 | 59,2 | 85,8 |

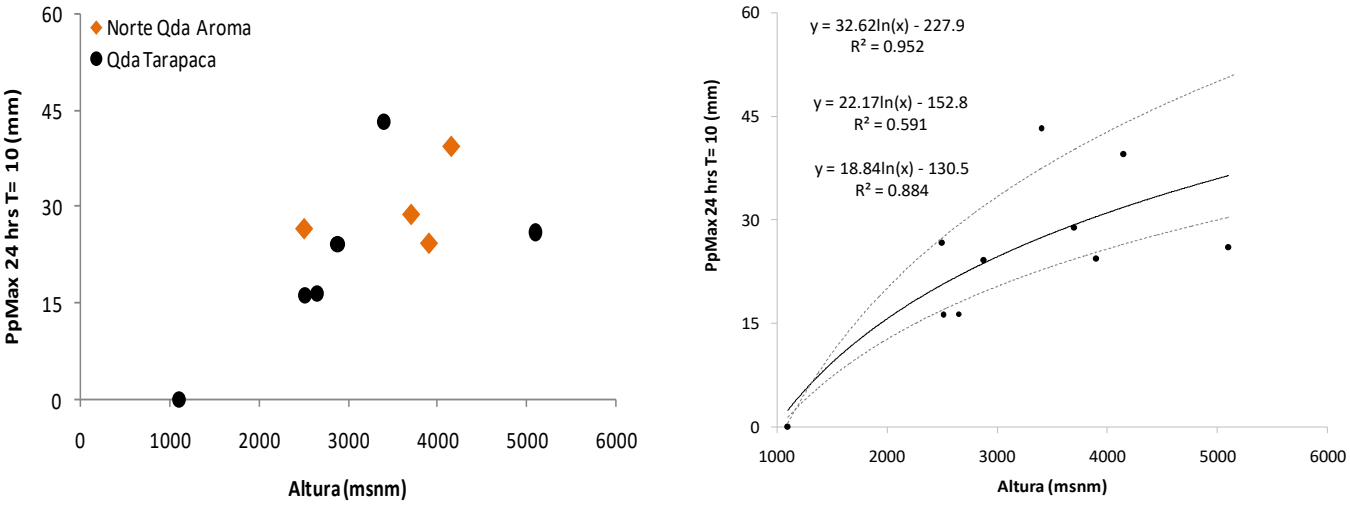
Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo 4-3 se muestran los cálculos de cada estación. La precipitación registrada en Huara se considera practicante nula. En la Figura 4.4.4.3-1 se muestra el ajuste adoptado


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

para la zona de estudio. El gráfico presenta los valores de precipitación máxima asociado al periodo de retorno de 10 años, en el se observa una dispersión importante al considerar los registros de estaciones ubicados al norte y al sur de la Quebrada de Aroma. En el costado izquierdo se muestran tres ajustes, tendencia superior, central e inferior.

**FIGURA 4.4.4.3-1**
**PRECIPITACIÓN MÁXIMA Y AJUSTE CENTRAL**




Fuente: Elaboración Propia.

Al adoptar la tendencia central se procede a calcular la precipitación asociada a cada alternativa para los periodos de retorno 5, 10, 20, 50, 100, 1.000 y 10.000. En el Cuadro 4.4.4.3-2 se muestran los valores de precipitación máxima en 24 hrs para las distintas alternativas.

**CUADRO 4.4.4.3-2**
**PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA SEGÚN TENDENCIA CENTRAL (mm)**

| Alternativa | Altura Media (msnm) | Periodo de Retorno (años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 1.000 | 10.000 |
| ALT1 | 3.818 | 23 | 30 | 37 | 46 | 53 | 78 | 107 |
| ALT2 | 3.818 | 23 | 30 | 37 | 46 | 53 | 78 | 107 |
| ALT3 | 3.818 | 23 | 30 | 37 | 46 | 53 | 78 | 107 |
| ALT4 | 3.687 | 23 | 29 | 36 | 45 | 51 | 76 | 104 |
| ALT5 | 3.824 | 23 | 30 | 37 | 46 | 53 | 78 | 107 |

Fuente: Elaboración Propia.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## 4.4.5. Fluviometría

### 4.4.5.1. Antecedentes Disponibles

Se cuenta con registros de caudales sólo en la Quebrada de Tarapacá, por lo que los únicos métodos para estimar el caudal en la Quebrada de Aroma corresponden a métodos indirectos de escalamiento o precipitación-escorrentía. El caudal medio anual en los distintos puntos de la cuenca de de Quebrada Aroma se realizó mediante un escalamiento estadístico en base a un modelo con parámetros calibrado en la Quebrada de Tarapacá. La metodología utilizada se describe en los siguientes puntos:

**a)** Calibración de parámetros de Escalamiento Estadístico en Quebrada de Tarapacá. Suponer que se conservan estos parámetros para la Quebrada de Aroma y generar de manera indirecta los caudales medios anuales en los distintos puntos de alternativa de embalse en la Quebrada de Aroma

**b)** Distribución del Caudal medio mensual, considerando la estadística de caudales medios mensuales adimensionales de la estación R. Tarapacá en Mina San Juan.

**c)** Comparación de esta serie mediantes la transformación de Pp-Es utilizando el coeficiente de escorrentía propuesto para la Quebrada de Aroma por JICA 1995 y la serie de precipitación anual presentada en el Cuadro 4.4.4.2-2.

**d)** Comparación con caudales de la Estación Aroma en Alagnusca (1928/29), aforos realizada por Jara 1929 y campaña de aforos realizada en Mayo y Octubre de 2013.

En el Cuadro 4.4.5.1-1 se muestran las estaciones fluviométricos con información.

**CUADRO 4.4.5.1-1**
**ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS**

| BNA | Estación | Altura (msnm) | UTM Este (m) | UTM Norte (m) | Años Información |
|---|---|---|---|---|---|
| 01730007-5 | Q. Tarapacá en Sibaya | 4.202 | 484.799 | 7.812.119 | 1928-2011 |
| 01730002-4 | R. Tarapacá en Mina San Juan | 3.918 | 469.764 | 7.806.936 | 1985-2003 |
| 01730012-1 | Q. Tarapacá en Laonsana | 3.859 | 463.777 | 7.804.343 | 2003-2011 |
| 01730001-6 | R. Coscaya en Pampa Lirima | 4.368 | 504.088 | 7.801.797 | 1977-1989 |
| 01730003-2 | R. Coscaya en Saitoco | 4.388 | 507.171 | 7.803.149 | 1985-2011 |
| 01720001-1 | Q. Aroma en Alagnusca | 1.343 | 432.959 | 7.816.550 | 1928-1931 |

Fuente: BNA-DGA


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En la Figura 4.4.5.1-1 muestra la ubicación de las estaciones fluviométricas y la zona de estudio.
La cuenca que posee registros con estaciones vigentes corresponde a Quebrada de Tarapacá, mientras que la Quebrada de Aroma solo cuenta con la Estación Río Aroma en Alagnusca en un periodo antiguo y corto (1929-1930), sin embargo corresponde a los únicos registros del BNA ya que no se ha instalado ninguna otra estación por parte de los servicios correspondientes. En el Anexo 4-4 se muestran las series de cada estación.
En el Cuadro 4.4.5.1-2 se muestra el caudal medio y la desviación estándar asociada a los caudales registrados por el BNA.

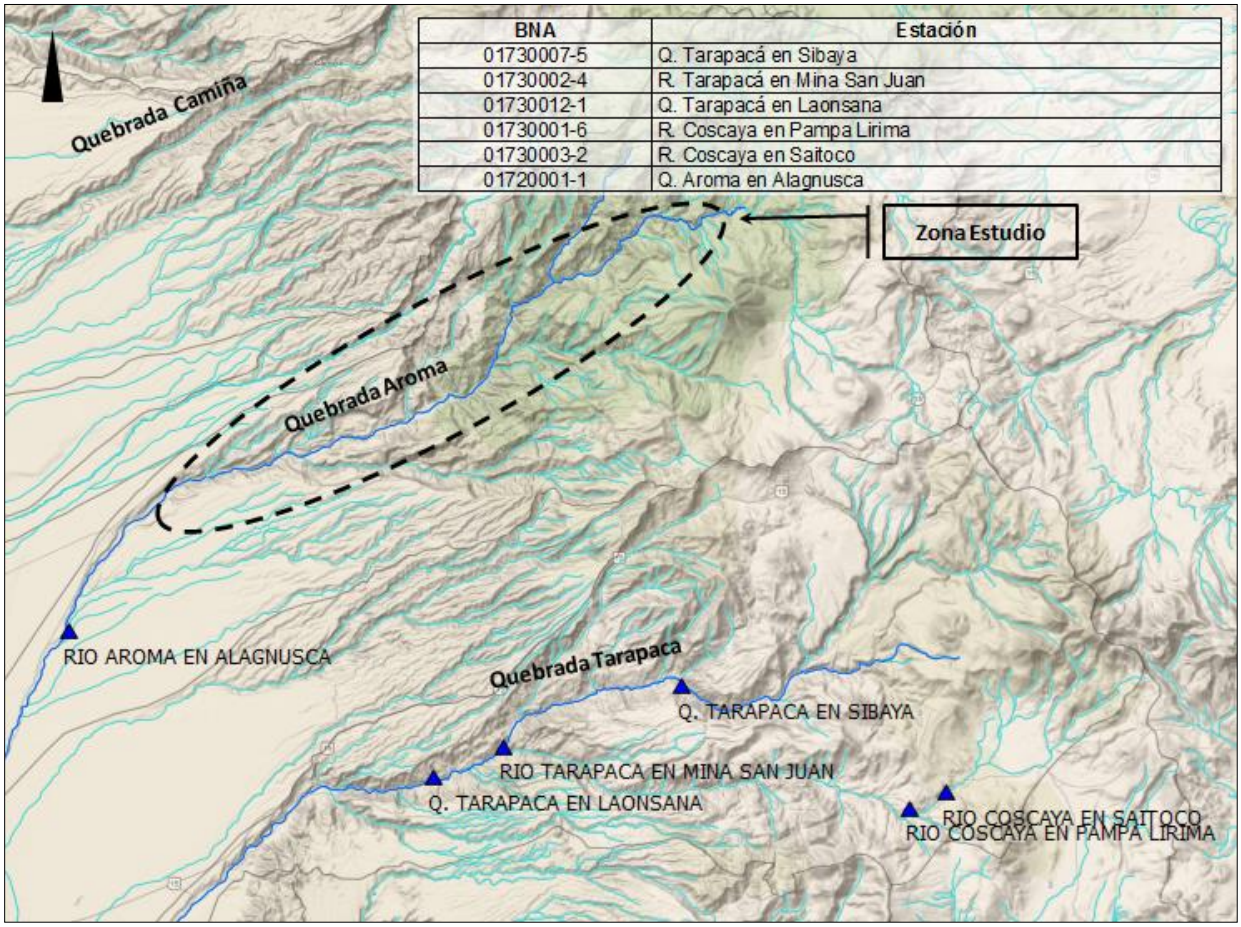
**CUADRO 4.4.5.1-2**
**CAUDAL MEDIO Y DESVIACIÓN ESTANDAR**

| Estación | $Q_{med}$ ($m^3/s$) | σ ($m^3/s$) |
|---|---|---|
| Q. Tarapacá en Sibaya | 217,7 | 0,430 |
| R. Tarapacá en Mina San Juan | 343,7 | 0,506 |
| Q. Tarapacá en Laonsana | 238,3 | 0,277 |
| R. Coscaya en Pampa Lirima | 165,1 | 0,099 |
| R. Coscaya en Saitoco | 119,8 | 0,076 |
| Q. Aroma en Alagnusca | 381,9 | 0,182 |

Fuente: Elaboración Propia.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.4.5.1-1**
**ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS**




Fuente: Elaboración Propia.

## 4.4.5.2. Escalamiento Estadístico de Caudales Mensuales

La estrategia para estimar los caudales medios anuales en las alternativas de estudio se realizó a través del escalamiento estadístico, que permite estimar los valores medios a partir de coeficientes ajustados en la Quebrada de Tarapacá que posee diferentes puntos de control fluviométrico. Esta técnica, de escalamiento estadístico, se basa en la hipótesis que implica una dependencia espacial o temporal de los momentos probabilísticas. Este método ha sido aplicado para precipitaciones y caudales (Varas, 2003; DICTUC, 2008). El escalamiento estadístico supone que la variable que se desea escalar, en este caso los caudales, ubicadas en una misma zona pueden ser representados por el mismo modelo probabilístico y que los


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

momentos de serie de caudales son proporcionales a una función de transformación de escala. Los caudales se transforman de una escala a otra usando la función de transformación que vinculas las áreas de cada cuenca, h(a, A), mediante la siguiente expresión:

$$Q_a \cong h(a,A)Q_A$$

Donde $Q_a$ corresponde al caudal de la cuenca sin control fluviométrico, $Q_A$ al caudal en la cuenca base, "a" corresponde al área de la cuenca sin control fluviométrico y "A" corresponde al área de la cuenca con control. La función de escala se puede expresar como:

$$h(a,A) = \left(\frac{a}{A}\right)^{\beta}$$

Con lo cual los momentos de diferentes escalas quedan relacionados por:

$$M_r(Q_a) = \left(\frac{a}{A}\right)^{r\beta} M_r(Q_A)$$

El primer momento de la variable aleatoria está dado por la media de los caudales $\bar{Q}_a$ , mientras el segundo momento es la suma de la media al cuadrado más la varianza de la muestra, $(\bar{Q}_A^2 + \sigma_A^2)$, por lo tanto, las ecuaciones que permiten obtener estos parámetros quedan descritas como:

$$\bar{Q}_a = \left(\frac{a}{A}\right)^{\beta_1} \bar{Q}_A$$

$$\sigma_a^2 = \left(\frac{a}{A}\right)^{\beta_2} (\bar{Q}_A^2 + \sigma_A^2) - \bar{Q}_a^2$$

Sin embargo dado que en la zona existe un alto grado de heterogeneidad en las precipitaciones se considera más apropiado utilizar como función escalable aquella que no sólo depende de las áreas sino también de precipitación media de la cuenca. Por lo que las expresiones anteriores se modifican de la siguiente forma:

$$\bar{Q}_a = \left(\frac{a * Pp_a}{A * Pp_A}\right)^{\beta_1} \bar{Q}_A$$

$$\sigma_a^2 = \left(\frac{a * Pp_a}{A * Pp_A}\right)^{\beta_2} (\bar{Q}_A^2 + \sigma_A^2) - \bar{Q}_a^2$$

Donde $Pp_a$ corresponde a la precipitación anual media de la cuenca sin información y $Pp_A$ la precipitación anual media de la cuenca con información. Para encontrar los valores $\beta_1$ y $\beta_2$ se consideró como estación generadora de caudales la estación Tarapacá en Mina San Juan y se procedió a calcular los valores medios y desviación estándar de las otras estaciones. En el Cuadro 4.4.5.2-1 se muestran los parámetros de área y precipitación media asociados a la cuenca de cada estación, obtenidos de las Isoyetas del DICTUC, 2008., tal como se muestra en la Figura 4.4.5.2-1.

**CUADRO 4.4.5.2-1**

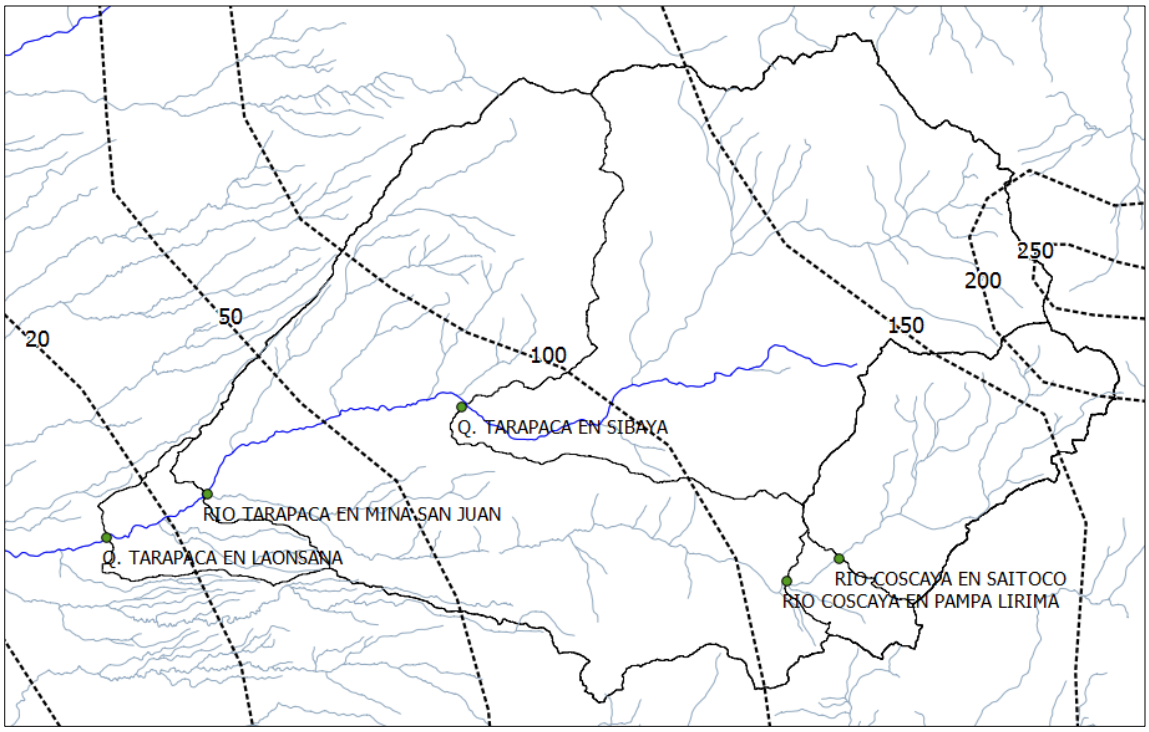
**AREA Y PRECIPITACIÓN MEDIA ASOCIADA A CADA CUENCA CON INFORMACIÓN**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| Estación | Pp (mm) | Área (km²) |
|---|---|---|
| Q. Tarapacá en Sibaya | 146 | 548 |
| R. Tarapacá en Mina San Juan | 118 | 1.381 |
| Q. Tarapacá en Laonsana | 118 | 1.436 |
| R. Coscaya en Pampa Lirima | 160 | 201 |
| R. Coscaya en Saitoco | 166 | 172 |

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.4.5.2-1**
**DELIMITACIÓN DE CUENCAS Y PRECIPITACIÓN MEDIA QUEBRADA TARAPACÁ**




Fuente: Isoyetas DICTUC, 2006, Elaboración Propia.

El modelo se ajustó con valores de $\beta_1$= 0,55 y $\beta_2$= 1,30, lo que permitió generar los valores de caudal y desviación estándar que se muestran en el Cuadro 4.4.5.2-2. En la Figura 4.4.5.2-2 se muestran los resultados en forma gráfica. En el Anexo 4-5.

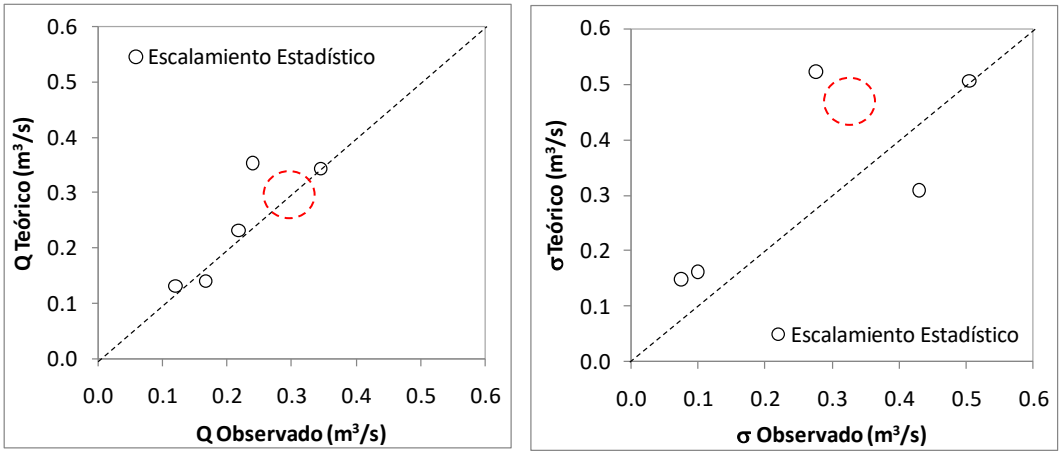
**CUADRO 4.4.5.2-2**
**CAUDAL MEDIO Y DESVIACIÓN ESTANDAR OBSERVADO Y TEÓRICO**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| Estación | Observados | | Teóricos | |
|---|---|---|---|---|
| | Q ($m^3/s$) | σ ($m^3/s$) | Q ($m^3/s$) | σ ($m^3/s$) |
| Q. Tarapacá en Sibaya | 0,218 | 0,430 | 0,232 | 0,307 |
| Q. Tarapacá en Laonsana | 0,238 | 0,278 | 0,351 | 0,520 |
| R. Coscaya en Pampa Lirima | 0,165 | 0,099 | 0,141 | 0,160 |
| R. Coscaya en Saitoco | 0,120 | 0,077 | 0,132 | 0,146 |

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.4.5.2-2**
**CAUDAL MEDIO Y DESVIACIÓN ESTANDAR OBSERVADO Y TEÓRICO**




Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que los parámetros obtienen un buen ajuste en cuanto a caudales medios, mostrando mayores diferencias en el escalamiento de las varianzas. En ambos gráficos el valor escalado para la Estación Tarapacá en Laonsana no genera un buen resultado, tal como se observa en círculo rojo en la Figura 4.4.5.2-2. Esto ocurre debido a que el tramo ubicado entre la Estación Tarapacá en San Juan y Tarapacá en Laonsana se encuentra altamente intervenida, por lo que existen extracciones que alteran los registros. En general se observa un buen ajuste, por lo que se consideran apropiados los coeficientes $\beta_1$= 0,55 y $\beta_2$= 1,30 para trasponer a zonas sin información en la Quebrada de Aroma, considerando que en esta Quebrada no existen extracciones importantes para riego que puedan alterar los caudales medios.

En el Cuadro 4.4.5.2-3 se muestran los parámetros de Área y Caudal asociado a cada alternativa, además del valor medio y varianza estimada considerando los coeficientes $\beta_1$=


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

0,55 y $\beta_2$= 1,30 y los parámetros observados en la Estación Tarapacá en San Juan. En la Figura 4.4.5.2-3 se muestran la ubicación de los caudales escalados.

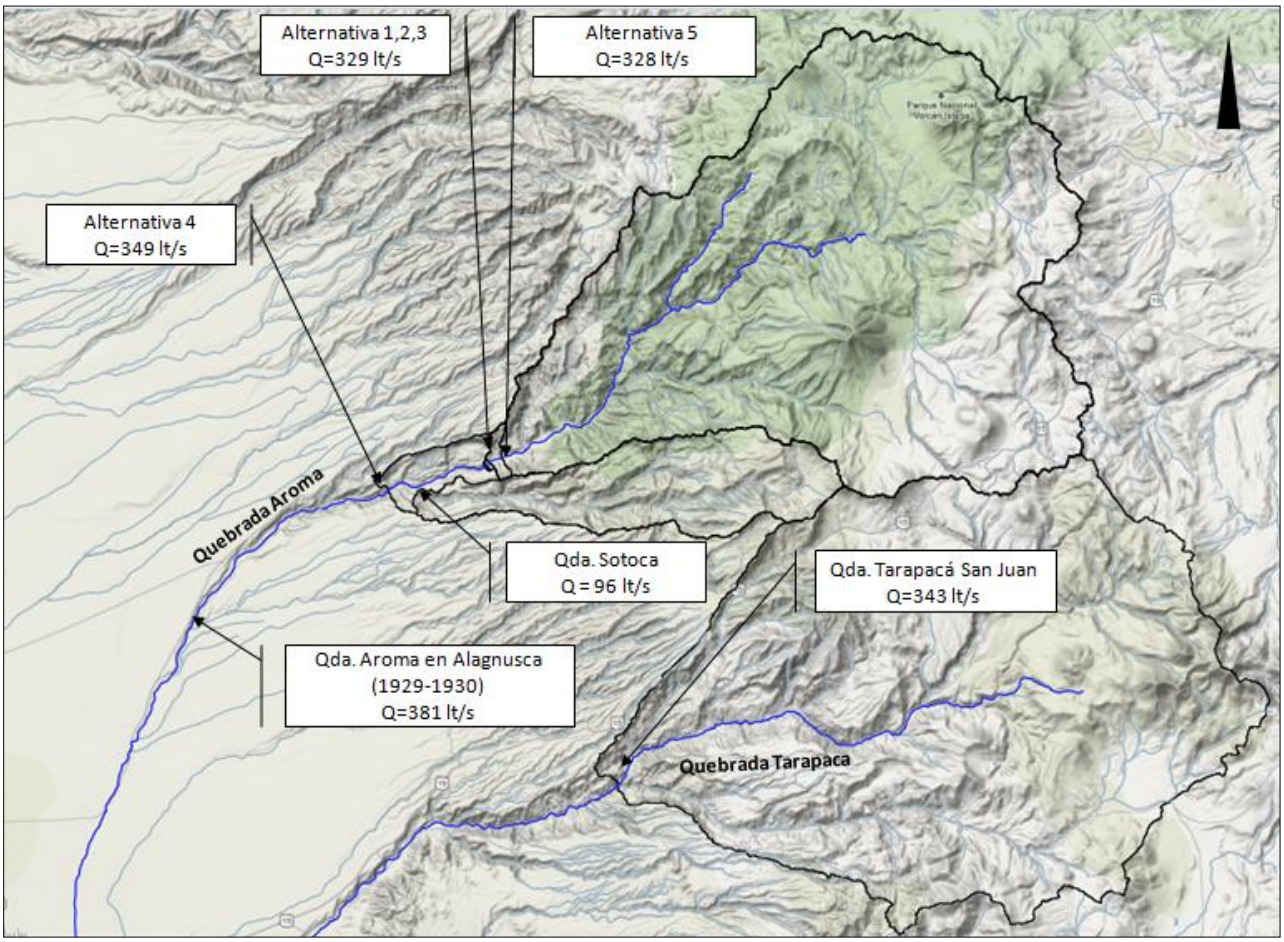
**CUADRO 4.4.5.2-3**
**CAUDAL MEDIO Y DESVIACIÓN ESTANDAR EN CADA ALTERNATIVA**

| Alternativas | Área(Km²) | Pp(mm) | Q(m³/s) | σ (m³/s) |
|---|---|---|---|---|
| ALT1 | 1.230 | 122 | 0,328 | 0,478 |
| ALT2 | 1.231 | 122 | 0,329 | 0,478 |
| ALT3 | 1.231 | 122 | 0,329 | 0,478 |
| ALT4 | 1.455 | 115 | 0,349 | 0,516 |
| ALT5 | 1.226 | 122 | 0,328 | 0,477 |
| Sotoca | 193 | 83 | 0,096 | 0,095 |

Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 4.4.5.2-3**
**CAUDAL MEDIO ESTIMADO PARA ALTERNATIVAS**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Elaboración Propia.

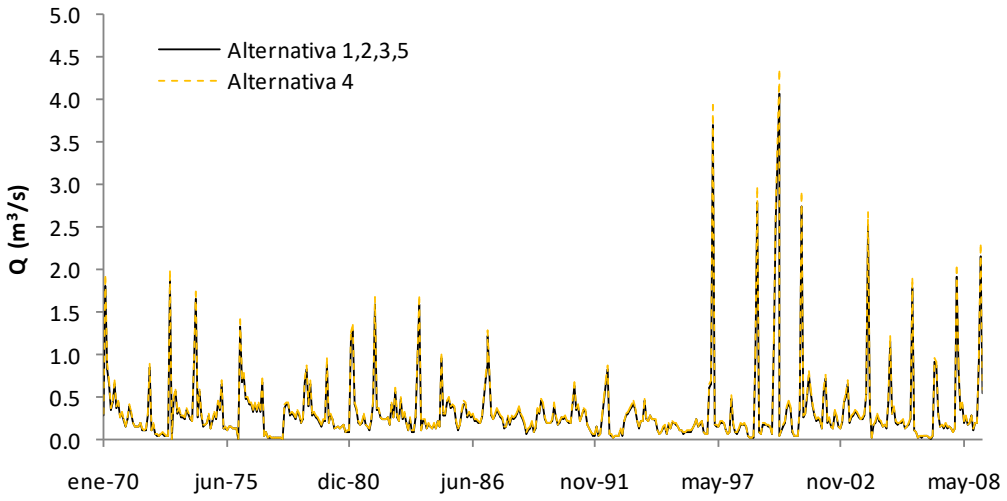
La distribución mensual de este caudal medio se realizó en base a la distribución del caudal observado en la Quebrada de Tarapacá, tal como se muestra en la Figura 4.4.5.2-4. La distribución mensual se ajustó al valor medio obtenido en cada alternativa del Cuadro 4.4.5.2-3 para generar la serie de caudales representativa en cada punto. Dicha serie se obtuvo de los registros de la DGA y fue completada hasta el año 2008 en el estudio de GCF-DGA 2010 llamado "Metodología para la estimación de recarga de cuencas altiplánicas y precordilleranas de vertiente pacífica en el norte de Chile, XV, I, II y III regiones / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas".

En el Anexo 4-5 se muestra la serie adoptada para cada alternativa. Según los resultados obtenidos se puede estimar que durante los meses de Dic.-Mar se concentra el 60 % de la escorrentía media anual.

**FIGURA 4.4.5.2-4**

**SERIE DE CAUDAL ALTERNATIVAS PINTANANE**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Elaboración Propia.

En los Cuadros 4.4.5.2-4 se muestran los valores de caudal asociado a distintas probabilidades de excedencia.

En la Figura 4.4.5.2-5 y 4.4.5.2-6 se muestran los valores de la curva de variación mensual para las distintas alternativas.

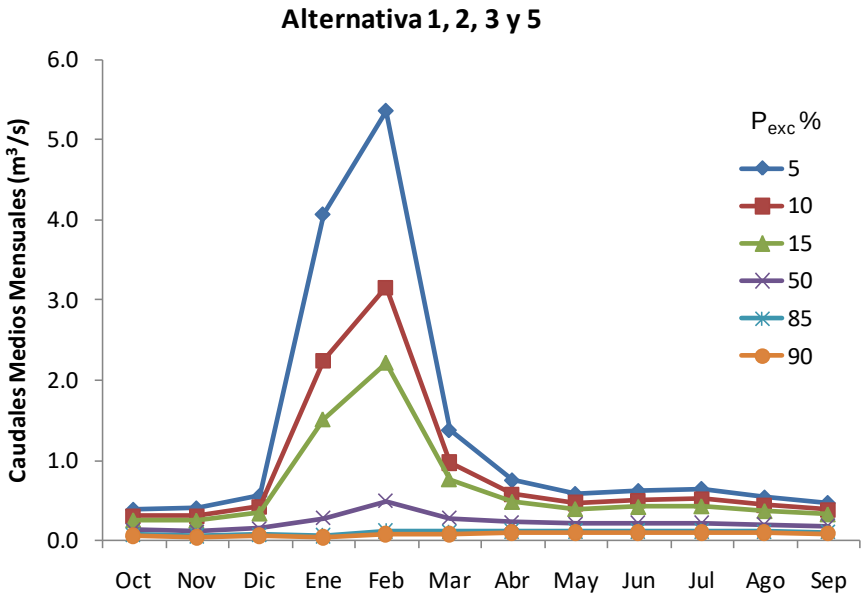

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 4.4.5.2-4
## CAUDALES ALTERNATIVAS DE EMBALSE QUEBRADA DE AROMA

| Alternativa 1, 2, 3 y 5 ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_{exc}$% | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Anual |
| 5 | 0,383 | 0,400 | 0,554 | 4,067 | 5,360 | 1,375 | 0,750 | 0,580 | 0,617 | 0,643 | 0,536 | 0,468 | 0,584 |
| 10 | 0,300 | 0,302 | 0,413 | 2,250 | 3,159 | 0,968 | 0,576 | 0,460 | 0,490 | 0,505 | 0,429 | 0,379 | 0,505 |
| 15 | 0,255 | 0,250 | 0,338 | 1,509 | 2,211 | 0,763 | 0,483 | 0,394 | 0,420 | 0,429 | 0,369 | 0,328 | 0,458 |
| 50 | 0,127 | 0,112 | 0,146 | 0,278 | 0,490 | 0,280 | 0,228 | 0,204 | 0,218 | 0,215 | 0,195 | 0,179 | 0,302 |
| 85 | 0,064 | 0,050 | 0,063 | 0,051 | 0,108 | 0,103 | 0,108 | 0,106 | 0,113 | 0,107 | 0,103 | 0,098 | 0,199 |
| 90 | 0,054 | 0,041 | 0,052 | 0,034 | 0,076 | 0,081 | 0,090 | 0,090 | 0,097 | 0,091 | 0,089 | 0,085 | 0,180 |
| $Q_{medio}$ | 0,153 | 0,142 | 0,197 | 0,543 | 0,887 | 0,472 | 0,281 | 0,237 | 0,258 | 0,257 | 0,225 | 0,204 | 0,327 |
| Alternativa 4 ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | | |
| $P_{exc}$% | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Anual |
| 5 | 0,385 | 0,402 | 0,556 | 4,383 | 5,745 | 1,460 | 0,796 | 0,616 | 0,655 | 0,683 | 0,569 | 0,497 | 0,617 |
| 10 | 0,301 | 0,303 | 0,414 | 2,414 | 3,378 | 1,027 | 0,612 | 0,489 | 0,520 | 0,536 | 0,455 | 0,402 | 0,533 |
| 15 | 0,256 | 0,251 | 0,339 | 1,615 | 2,361 | 0,811 | 0,512 | 0,418 | 0,445 | 0,455 | 0,392 | 0,348 | 0,483 |
| 50 | 0,128 | 0,112 | 0,146 | 0,295 | 0,519 | 0,298 | 0,242 | 0,216 | 0,231 | 0,228 | 0,207 | 0,190 | 0,318 |
| 85 | 0,064 | 0,050 | 0,063 | 0,054 | 0,114 | 0,109 | 0,114 | 0,112 | 0,120 | 0,114 | 0,110 | 0,104 | 0,209 |
| 90 | 0,054 | 0,041 | 0,052 | 0,036 | 0,080 | 0,086 | 0,096 | 0,096 | 0,103 | 0,097 | 0,094 | 0,090 | 0,190 |
| $Q_{medio}$ | 0,153 | 0,143 | 0,197 | 0,577 | 0,941 | 0,501 | 0,299 | 0,252 | 0,274 | 0,273 | 0,239 | 0,216 | 0,345 |

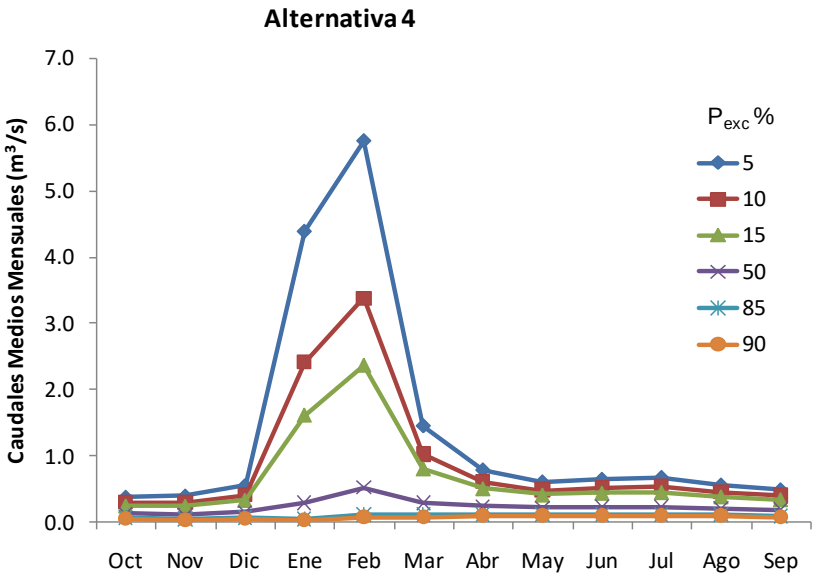
Fuente: Elaboración Propia.

## FIGURA 4.4.5.2-5
## CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL QUEBRADA DE AROMA ALT 1, 2, 3 Y 5




Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.4.5.2-6**
**CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL QUEBRADA DE AROMA ALT 4**




Fuente: Elaboración Propia.

### 4.4.6. Estimación Preliminar de Caudales Máximos

La estimación de caudales máximos se realizó mediante expresiones empíricas de Verni-King y Formula Racional, dado que no existen registros fluviométricos en la Quebrada de Aroma. Para aplicar dichas metodologías se utilizaron las precipitaciones máximas estimadas en el Cuadro 4.4.4.3-2.

Para aplicar la expresión empírica Formula Racional también se debe estimar la precipitación máxima asociada al tiempo de concentración de cada cuenca. Para ello se procede a estimar el tiempo de concentración según California Highways y luego la intensidad máxima asociada a este tiempo con la expresión de Grunsky.

El tiempo de concentración se estimó mediante la expresión de California Highways and Public Works, que se define de la siguiente forma:

$$tc = 0{,}95 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0{,}385}$$

Donde:

tc = Tiempo de concentración (hrs).
L = Longitud del cauce principal (Km).
H = Desnivel Máximo de la cuenca (m).

En el Cuadro 4.4.6-1 se muestra el tiempo de concentración asociado a cada alternativa de embalse.

**CUADRO 4.4.6-1**
**TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE CADA ALTERNATIVA**

| Alternativa | Largo Cauce km | $H_{min}$ msnm | $H_{max}$ msnm | Desniv m | Tc hr |
|---|---|---|---|---|---|
| ALT1 | 54,8 | 1.932 | 5.224 | 3.292 | 4,3 |
| ALT2 | 55,2 | 1.929 | 5.224 | 3.295 | 4,3 |
| ALT3 | 55,4 | 1.919 | 5.224 | 3.305 | 4,3 |
| ALT4 | 63,7 | 1.714 | 5.224 | 3.510 | 5,0 |
| ALT5 | 53,8 | 1.950 | 5.224 | 3.274 | 4,2 |

Fuente: Elaboración Propia.

Para determinar la Intensidad máxima asociada al tiempo de concentración se utilizó la expresión de Grunsky, definida como:

$$I_{Tc} = I_{24} \sqrt{\frac{24}{T_C}}$$

Donde:

$I_{TC}$: Intensidad Máxima en tiempo de concentración (mm/hr)
$I_{24\ hr}$ : Intensidad Máxima en 24 hrs (mm/hr)


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Tc: Tiempo de Concentración (hrs)
En el Cuadro 4.4.6-2 se muestra la intensidad máxima asociada al tiempo de concentración para las distintas alternativas.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 4.4.6-2
## INTENSIDAD MÁXIMA ASOCIADA AL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (mm/hr)

| Alternativas | T 5 | T 10 | T 20 | T 50 | T 100 | T 1.000 | T 10.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ALT1 | 2,3 | 3,0 | 3,6 | 4,5 | 5,2 | 7,7 | 10,5 |
| ALT2 | 2,3 | 3,0 | 3,6 | 4,5 | 5,2 | 7,7 | 10,5 |
| ALT3 | 2,3 | 3,0 | 3,6 | 4,5 | 5,2 | 7,7 | 10,5 |
| ALT4 | 2,1 | 2,7 | 3,3 | 4,1 | 4,7 | 6,9 | 9,5 |
| ALT5 | 2,3 | 3,0 | 3,7 | 4,6 | 5,3 | 7,8 | 10,7 |

Fuente: Elaboración Propia.

Con estos antecedentes se procedió a estimar la precipitación máxima según los métodos empíricos de Verni- King y Racional. El caudal máximo según la expresión de Verni King 1977 puede ser determinado mediante la siguiente expresión:

$Q = 0{,}00615 * P_{24}^{1,24} * A^{0,88}$

Donde:

Q : Caudal Máximo ($m^3/s$)

$P_{24}$ = Precipitación Máxima en 24 hrs (mm)

A = área de la Cuenca ($km^2$)

En el Cuadro 4.4.6-3 se muestran los caudales estimados mediante la expresión de Verni King:

## CUADRO 4.4.6-3
## CAUDAL MÁXIMO SEGÚN EXPRESIÓN DE VERNI-KING ($m^3/s$)

| Alternativas | T5 | T10 | T20 | T50 | T100 | T1.000 | T10.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alternativa 1 | 124 | 170 | 218 | 286 | 341 | 554 | 818 |
| Alternativa 2 | 124 | 170 | 218 | 286 | 341 | 555 | 819 |
| Alternativa 3 | 124 | 170 | 218 | 286 | 341 | 555 | 819 |
| Alternativa 4 | 139 | 191 | 245 | 321 | 383 | 621 | 915 |
| Alternativa 5 | 124 | 170 | 218 | 286 | 341 | 553 | 817 |

Fuente: Elaboración Propia.

El caudal máximo según la expresión racional se obtiene según la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C * I_{Tc} * A}{3{,}6}$$

Donde:

Q : Caudal Máximo ($m^3/s$)

C : Coeficiente de Escorrentía (adimensional)

$I_{Tc}$: Intensidad Máxima asociada al tiempo de concentración (mm/hr)
A : Área ($km^2$)
El Cuadro 4.4.6-4 muestra los coeficientes de escorrentía adoptados.

**CUADRO 4.4.6-4**
**COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA ADOPTADO**

| T años | C | T años | C |
|---|---|---|---|
| 5 | 0,052 | 100 | 0,237 |
| 10 | 0,108 | 200 | 0,269 |
| 20 | 0,146 | 1.000 | 0,319 |
| 50 | 0,212 | 10.000 | 0,370 |

Fuente: Elaboración Propia.

En el Cuadro 4.4.6-5 se muestra el caudal máximo obtenido según la expresión racional para distintos periodos de retorno.

**CUADRO 4.4.6-5**
**CAUDAL MÁXIMO SEGÚN FORMULA RACIONAL ($m^3/s$)**

| Alternativas | T 5 | T10 | T20 | T50 | T100 | T1.000 | T10.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ALT1 | 41 | 110 | 181 | 328 | 421 | 709 | 1.151 |
| ALT2 | 41 | 109 | 180 | 326 | 419 | 705 | 1.145 |
| ALT3 | 41 | 109 | 180 | 326 | 419 | 705 | 1.145 |
| ALT4 | 44 | 118 | 193 | 350 | 450 | 756 | 1.226 |
| ALT5 | 41 | 111 | 182 | 330 | 425 | 714 | 1.160 |

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente se consideran como representativos los caudales obtenidos mediante el método racional, ya que para periodos de retorno pequeño presenta valores más bajos a los estimados mediante la expresión de Verni King, mientras que para periodos de retorno alto presenta valores mayores.

## 4.4.7. Aguas Subterráneas

La recarga de aguas subterráneas fue abordada en detalle en el estudio realizado por DICTUC 2006, en ella se estimaron las series de recarga correspondiente a las quebradas afluentes a la Pampa del Tamarugal.
Se estimó una recarga promedio de 273 L/s de la Quebrada de Aroma. El Cuadro 4.4.7-1 muestra la serie de recarga obtenida por DICTUC, 2006.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 4.4.7-1
## SERIE DE RECARGA QUEBRADA DE AROMA (L/s)

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1978 | 279 | 276 | 224 | 166 | 111 | 106 | 104 | 151 | 200 | 249 | 248 | 243 | 196 |
| 1979 | 239 | 235 | 189 | 141 | 94 | 90 | 88 | 128 | 170 | 211 | 210 | 207 | 167 |
| 1980 | 203 | 199 | 160 | 120 | 80 | 76 | 75 | 109 | 144 | 179 | 178 | 182 | 142 |
| 1981 | 199 | 200 | 171 | 141 | 106 | 86 | 84 | 112 | 142 | 171 | 169 | 166 | 146 |
| 1982 | 163 | 160 | 133 | 103 | 75 | 72 | 70 | 94 | 119 | 144 | 143 | 147 | 119 |
| 1983 | 144 | 142 | 118 | 93 | 62 | 60 | 64 | 84 | 105 | 126 | 219 | 295 | 126 |
| 1984 | 380 | 453 | 468 | 384 | 311 | 291 | 286 | 338 | 393 | 446 | 443 | 435 | 386 |
| 1985 | 428 | 420 | 364 | 306 | 248 | 240 | 236 | 280 | 327 | 373 | 371 | 373 | 330 |
| 1986 | 367 | 360 | 312 | 262 | 205 | 198 | 194 | 232 | 271 | 310 | 321 | 318 | 279 |
| 1987 | 315 | 309 | 269 | 214 | 170 | 163 | 160 | 191 | 225 | 258 | 255 | 251 | 232 |
| 1988 | 308 | 375 | 378 | 378 | 377 | 374 | 365 | 418 | 474 | 530 | 524 | 535 | 420 |
| 1989 | 532 | 522 | 463 | 401 | 320 | 304 | 299 | 344 | 391 | 438 | 434 | 447 | 408 |
| 1990 | 462 | 470 | 433 | 394 | 336 | 320 | 314 | 353 | 394 | 436 | 437 | 429 | 398 |
| 1991 | 422 | 414 | 368 | 315 | 270 | 262 | 257 | 290 | 325 | 359 | 356 | 349 | 332 |
| 1992 | 343 | 337 | 299 | 260 | 221 | 215 | 211 | 239 | 269 | 302 | 305 | 300 | 275 |
| 1993 | 294 | 289 | 253 | 214 | 181 | 207 | 220 | 253 | 287 | 320 | 295 | 282 | 258 |
| 1994 | 296 | 299 | 280 | 260 | 240 | 224 | 220 | 238 | 257 | 276 | 273 | 268 | 261 |
| 1995 | 272 | 267 | 244 | 219 | 195 | 182 | 179 | 194 | 211 | 227 | 224 | 221 | 220 |
| 1996 | 217 | 213 | 194 | 173 | 153 | 152 | 156 | 169 | 183 | 197 | 197 | 188 | 183 |
| 1997 | 215 | 217 | 204 | 187 | 172 | 142 | 140 | 151 | 163 | 174 | 175 | 172 | 176 |
| 1998 | 169 | 166 | 152 | 134 | 119 | 116 | 114 | 123 | 133 | 143 | 141 | 152 | 139 |
| 1999 | 203 | 225 | 230 | 235 | 226 | 192 | 188 | 201 | 215 | 228 | 225 | 223 | 216 |
| 2000 | 226 | 222 | 205 | 187 | 167 | 156 | 153 | 164 | 175 | 187 | 188 | 212 | 187 |
| 2001 | 328 | 422 | 451 | 472 | 470 | 431 | 418 | 469 | 522 | 574 | 568 | 566 | 474 |
| 2002 | 556 | 546 | 488 | 427 | 372 | 392 | 398 | 453 | 510 | 554 | 530 | 520 | 479 |
| 2003 | 511 | 502 | 452 | 400 | 349 | 340 | 333 | 369 | 406 | 443 | 438 | 448 | 416 |
| 2004 | 446 | 443 | 406 | 367 | 311 | 303 | 298 | 327 | 359 | 389 | 402 | 407 | 372 |
| 2005 | 407 | 400 | 364 | 309 | 261 | 247 | 243 | 267 | 294 | 319 | 319 | 315 | 312 |
| MEDIA | 319 | 324 | 295 | 259 | 221 | 212 | 210 | 241 | 274 | 306 | 307 | 309 | 273 |

Fuente: DICTUC, 2006.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 4.4.8. Solicitud de Derechos Superficiales de Agua Eventuales

En el presente acápite se indican los puntos necesarios para realizar la solicitud de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales eventuales en la quebrada de Aroma por parte de la DOH, para su posterior uso en el caso de que el proyecto de embalse se lleve a cabo.
Los requisitos, deben contener, a lo menos todas las menciones que establece el Artículo 140 del Nuevo Código de Aguas, que se enlistan a continuación:

- **Nombre o razón social de él o los peticionarios, y RUT**.
- **Señalar domicilio.**
- **Nombre del cauce o álveo:** Aguas superficiales y corrientes de la quebrada de Aroma, Provincia del Tamarugal.
- **Cantidad de agua:** 18,2 $hm^3$/año.
- **El Punto:** 461.276 Este; 7.834.317 Norte, Datum Sirgas, Huso 19S; el punto de captación en un embalse es la intersección de la cota de aguas máximas con la corriente natural del río.
- **Modo de extraer:** gravitacional, en un embalse ubicado en el punto indicado anteriormente en la quebrada de Aroma.
- **La naturaleza del derecho:** uso consuntivo, de ejercicio eventual y continuo.
- **Memoria explicativa:** se adjunta en el Anexo 4-6 Formulario pedido por la DGA para la solicitud de derechos y memoria técnica en el Anexo 4-7.

Además de lo anterior se deben presentar antecedentes legales en el caso de que sea una persona jurídica. Respecto a lo anterior el artículo 140 del Código de Aguas, en su número 1, pide indicar "el nombre y demás antecedentes para individualizar al solicitante". No hay mayores especificaciones que la anteriormente citada.
Así, tratándose específicamente de la Dirección de Obras Hidráulicas, ésta es una división o parte del Ministerio de Obras Públicas (un servicio público), cuya existencia emana de la Ley Orgánica del Ministerio de Obras Públicas, que establece la Dirección de Obras Hidráulicas, cuyo Jefe Superior es el Director de Obras Hidráulicas.
La DGA no podría desconocer la existencia de la DOH y la personería de su Director por lo que se sugiere acompañar copia fiel o auténtica del decreto o acto administrativo que contenga el nombramiento de ese funcionario (o el acto administrativo que contenga el nombramiento de otro funcionario subalterno que firme la petición, o bien la resolución emanada del propio Director de Obras Hidráulicas que lo faculte para firmar la solicitud).
Finalmente, la forma de presentar la solicitud y su publicación se deben realizar de acuerdo a lo indicado en el Artículo del Nuevo Código de Aguas.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## *4.5. capacidad de los embalses*

La capacidad definitiva del embalse se determina a partir de un modelo de simulación operacional mensual, que determina la capacidad necesaria para regar la superficie del proyecto con 85% de seguridad. Este modelo forma parte de etapas posteriores (Capitulo 9), ya que requiere de información agroeconómica de tasas de riego, aún en estudio**.**

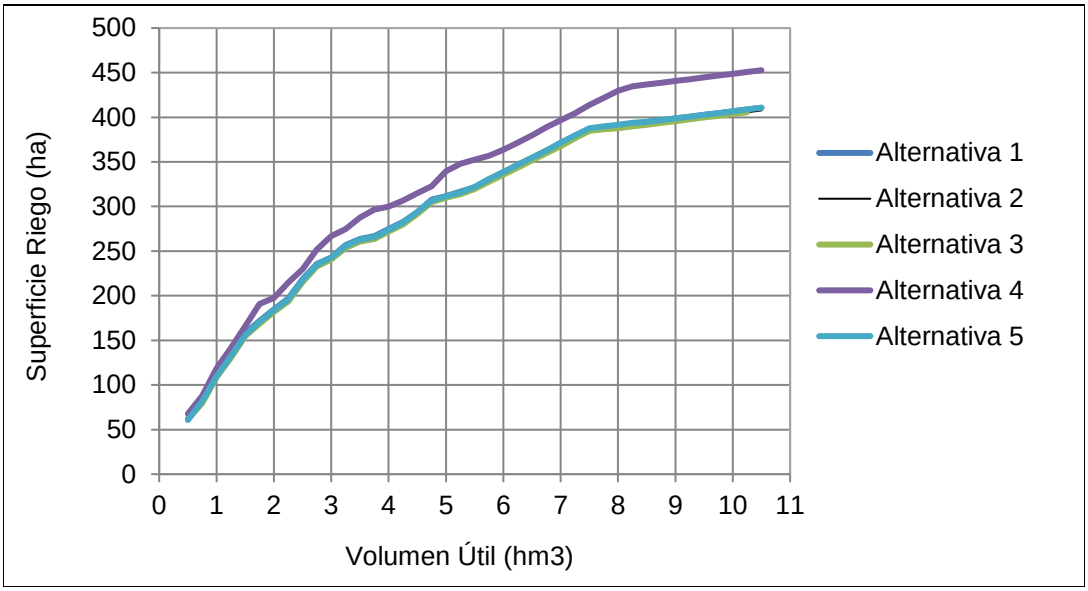
A pesar de lo anterior, para efectos del análisis se realizó un modelo de simulación preliminar (Anexo 4-8) y se evaluó el siguiente escenario:

- Un volumen útil asociado a una seguridad de riego de 85% para regar la superficie de 400 ha, que corresponde aproximadamente a la máxima cantidad de hectáreas que se podrían regar eventualmente con la cantidad de agua disponible en la Quebrada de Aroma.

En la Figura 4.5-1 se muestra la curva de superficie de riego versus volumen útil que es capaz de regar con un 85 % de seguridad para cada alternativa a partir del modelo preliminar.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.5-1**
**SUPERFICIE DE RIEGO VS VOLUMEN ÚTIL ASOCIADO A UN 85% DE SEGUIRDAD DE REIGO**




Fuente: Elaboración Propia.

Bajo dicho escenario se definieron los volúmenes útiles de cada alternativa.

Para obtener la capacidad total de cada embalse analizado se debe sumar al volumen útil, el volumen muerto y el volumen asociado a la revancha adoptada por efecto de crecidas. El volumen muerto corresponde al volumen destinado para la retención de los sólidos arrastrados por el río hasta la zona de embalse, que producto del muro, decantarán y se acumularán en el fondo del embalse, para ello se consideró un volumen de 6.0 $hm^3$. En el Cuadro 4.5-1 se presentan los volúmenes obtenidos por alternativa.

**CUADRO 4.5-1**
**RESUMEN VOLUMENES POR ALTERNATIVA PARA CADA ESCENARIO**

| Alternativas | Vol. Muerto $hm^3$ | Vol. Útil $hm^3$ | Vol. Umbral $hm^3$ |
|---|---|---|---|
| ALT1 | 6,00 | 9,16 | 15,16 |
| ALT2 | 6,00 | 9,54 | 15,54 |
| ALT3 | 6,00 | 9,54 | 15,54 |
| ALT4 | 6,00 | 7,10 | 13,10 |
| ALT5 | 6,00 | 9,16 | 15,16 |

Fuente: Elaboración propia.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## *4.6. Evaluación de anteproyecto de caminos*

La construcción del embalse obligaría a modificar los trazados de los caminos presentes en el sector de la presa y área de inundación y a construir caminos de acceso, de acuerdo a la alternativa que se proponga como definitivo.

Con el fin de cuantificar, en la elección de las 3 alternativas que se analizarán en etapas posteriores, dichas modificaciones, se han trazado las variantes de camino para cada una de las alternativas analizadas.

### 4.6.1. Descripción del Anteproyecto de Camino

En los diseño, se considerará el sistema de clasificación para caminos del Manual de Carreteras. Volumen 3. (MCV3) Capítulo 3.103.2, de acuerdo a la tabla 3.103.201-A.

En este caso, se tiene que el tipo de caminos considerados clasifican en la categoría de Desarrollo lo que permite velocidades de entre 30 y 50 km/h en el proyecto, de acuerdo con el Cuadro 4.6.1-1.

En el MCV3 además, se describe la clasificación de los caminos de acuerdo al terreno en donde se emplazarán y a las velocidades consideradas en el proyecto. Las velocidades de proyecto, Vp, más altas corresponden a trazados en terrenos llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terrenos montañosos o cuyo entorno presenta limitaciones severas para el trazado. En este caso se puede considerar que el terreno en el que se encuentra este proyecto clasifica de acuerdo a lo descrito en el Capítulo 3.103.2 de este manual como Terreno Ondulado.

**CUADRO 4.6.1-1**

**CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO DE CARRETERAS Y CAMINOS RURALES**

| Categoría | Sección Transversal | | Velocidades de Proyecto (km/h) | Código Tipo |
|---|---|---|---|---|
| | Nº Pistas | Nº Calzadas | | |
| Autopista | 4 ó + UD | 2 | 120-100-80 | A(n)-xx |
| Autorruta | 4 ó + UD | 2 | 100-90-80 | AR(n)-xx |
| Primario | 4 ó + UD | 2 (1) | 100-90-80 | P(n)-xx |
| | 2 BD | 1 | 100-90-80 | P(2)-xx |
| Colector | 4 ó + UD | 2 (1) | 80-70-60 | C(n)-xx |
| | 2 BD | 1 | 80-70-60 | C(2)-xx |
| Local | 2 BD | 1 | 70-60-50-40 | L(2)-xx |
| Desarrollo | 2 BD | 1 | 50-40-30* | D-xx |

- UD: Unidireccionales
- BD: Bidireccionales
- (n) Número Total de Pistas
- xx Velocidad de Proyecto (km/h)

*Menor que 30 km/h en sectores puntuales conflictivos

Fuente: MCV3


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El trazado de las variantes está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota que, si bien no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido las cuales pueden fluctuar entre 1 y 6%. Cabe destacar que aunque la mayoría del trazado presenta pendientes en el rango descrito, existen tramos con pendientes cercanas al 13%.

### 4.6.1.1. Parámetros de Diseño

Los parámetros básicos para el diseño del camino, tanto en lo referente al trazado en planta, así como en alzado serán tomados como referencia desde la tabla 3.201.5.A del MCV3, la cual se reproduce en el Cuadro 4.6.1.1-1.
Se considera que los caminos serán de Desarrollo, de acuerdo al Manual de Carreteras, con una velocidad media de proyecto de 30 km/h. Se aplicarán los siguientes parámetros mínimos para su Proyección.

Distancia de parada: 25 m
Distancia de adelantamiento: 180 m
Radio mínimo en curva: 25 m
Pendiente Máxima: 12%

Los diseños geométricos están calculados para una velocidad de diseño de 30 km/h restringida por curvas y pendientes muy altas. Las rasantes se han proyectado teniendo presente, tanto el espacio de la faja existente en algunos tramos, así como el ancho de calzada existente en el camino afectado. Con estos datos se proyectaron los caminos con un ancho de calzada de 4,0 m y taludes de corte y terraplén de 1/1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 4.6.1.1-1
## PARÁMETROS DE DISEÑO DE CAMINOS ALTERNATIVOS

| Categoría Carreteras y Caminos | | | Desarrollo | Locales | | Colectores | | Primarios/Autorrutas | | Autopistas | | | | REF. 3.100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Velocidad de Proyecto | | Vp (km/h) | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | (110) | 120 | (130) | 3.103/3.201.301 |
| Visib. | Distancia de Parada i=0% | Dp (m) | 25 | 38 | 52 | 70 | 90 | 115 | 145 | 175 | 210 | 250 | 300 | 3.202.2 |
| | Distancia de Adelantamiento (1) | Da (m) | 180 | 240 | 300 | 370 | 440 | 500 | 550 | 600 | 650 | (1) | (1) | 3.202.3 |
| Planta | Alineaciones Rectas | Lr(m) | Lr = \| 20 Vp Km/h \| Para todo V.; Lr mínimo 3.203.203 | | | | | | | | | | | 3.203.2 |
| | Radio Mínimo en Curva | Rm (m) | 25 | 50 | 80 | 120 | 180 | 250 | 330 | 425 | 540 | 700 | 900 | 3.203.302 |
| | Radio Mínimo en Curva al final recta: 400 m < Lr ≤ 600 m | R'm (m) | R' min ≥ Rm (V+10) | | | | | | | | | R' min ≥ Rm (V+5) | | 3.201.301 (2) |
| | Radio Mínimo en Curva al final recta: Lr ≥ 600 m | R'm (m) | R' min ≥ Rm (V+20) | | | | | | | R' min ≥ Rm (V+15) | | R' min ≥ Rm (V+10) | | 3.201.301 (2) |
| | Peralte Máximo | P (%) | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7/8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 3.203.302 |
| | Pendiente Relativa de Borde (2) | Δ (%) | 0,7 - 1,5 | | | 0,6 - 1,3 -(1,3) | | 0,5 - 0,9 -(0,9) | | 0,35 - 0,8 - (0,8) | | | (0,8) | 3.203.305 (3) |
| | Desarrollo Mín. ω = 9º y Rm | D (m) | - | 7 | 12 | 17 | 26 | 35 | 47 | 60 | 76 | 100 | 130 | 3.203.303 (4) |
| | Radio lím. Contra Peralte (3) | RL (m) | - | - | - | > 3500 | | | > 7500 | | | | | 3.203.303 (3) |
| | Parámetro Mín. Clotoide; R=Rmín. | A (m) (4) | - | 29 | 37 | 48/68 | 60/83 | 83/125 | 110/144 | 142/173 | 190/195 | -/234 | -/305 | 3.203.403 (1) |
| | Cond. Adicionales A | - | Por desarrollo Peralte - Por Longitud L máx.< 1,5 L mín. - Siempre A < R | | | | | | | | | | | 3.203.403 |
| Alzado | Pendiente Máxima (5) | i (%) | 10 - 12 | 10 - 9 | 9 | 8 | 8 | 8 - 6 - 5 | 5 | 4,5 | - | 4 | 4 | 3.204.301 |
| | Curva Vertical Convexa (V*=Vp) | Kv (m) | 300 | 400 | 700 | 1200 | 1800 | 300 | 4700 | 6850 | 9850 | 14000 | 16000 | 3.204.301 (1) |
| | Curva Vertical Cóncava (Vp) | Kc (m) | 400 | 600 | 1000 | 1400 | 1900 | 2600 | 3400 | 4200 | 5200 | 6300 | 6300 | 3.204.301 (2) |
| | Curva Vertical Cóncava (Ilum. Artif.) | Kci (m) | 250 | 400 | 650 | 950 | 1300 | 1700 | 2100 | 2600 | 3200 | 3700 | 3700 | 3.204.301 (3) |
| | C. Vertical Convexa x. Adelant. (6) | Ka (m) | 3500 | 6300 | 9800 | 14900 | 21000 | 27200 | 33900 | 39100 | 45900 | - | - | 3.204.405 |


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Long. Mín. Curva Vertical | 2T (m) | En general 2T min. ≥ V (km/h); Si 2T mín. Controla K min. = Vφ - Salvo casos 3.204.406 | | 3.204.404 |

(1) Distancia Visibilidad adelantamiento requerida sólo en caminos Bidireccionales - No corresponde para V > 100 KPH. Salvo (110) si Vp = 100 y se trata de una pendiente > 6%

(2) Valores de ∆ Normal y Máximo, en () Máximo para n > 1

(3) Para Radios Límite en Contraperalte en Tramos Singulares. Ver Tabla 3.203.303 (3) A

(4) Primer Valor Calzada Bidireccional / Segundo, Calzada Unidireccional-Ambas consideran Jmáx y ∆máx. Para R >Rmín. Ver Lámina 3.203.403 (1) A

(5) Pendiente Máxima hasta 2500 m.s.n.m. - Mayor valor corresponde a Menor Categoría de Carretera.

(6) Considerar sólo en caminos Bidireccionales - No corresponde para V > 100 KPH.

Vp (110) y (130) No corresponden a una Velocidad de Proyecto de las Categorías - Se dan relación con la V85% ó V* de un cierto tramo. Para (130) Kv indicado corresponde a V* = Vp+10.

Fuente: MCV3



Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 4.6.1.2. Diseño de Contrafoso

Como una medida de precaución para el caso de lluvias más relevantes, se propone la construcción de un contrafoso a lo largo del tendido del camino. Este contrafoso tendría como función captar y encauzar las aguas provenientes de las lluvias.
De acuerdo a lo mencionado, se optó por una zanja cortada directamente en tierra. La geometría de ésta se recomienda que sea de un mínimo de 0,5 m de ancho basal y con una profundidad también mínima, de 0,50 m. Los taludes de corte serán de 1/1, al igual que los utilizados en el camino.

## 4.6.2. Trazados de Variantes de Caminos

A continuación se indican las variantes proyectadas de los caminos existentes en la zona de embalse.
En las alternativas ALT1, ALT2 y ALT3, se ha realizado una variante de 1.925 m de largo para la reposición de la ruta A-459, que quedaría sumergida por las aguas. Además se han proyectado los accesos al pie de las presas los cuales dan longitudes de 951 m, 1.313 m y 1.237 m respectivamente. Los nuevos trazados de las variantes de camino se presentan en la Figura 4.6.2-1, 4.6.2-2 y 4.6.2-3.
Al igual que en las alternativas anteriores, se ha realizado una variante a la ruta A-459 en la alternativa 4 para la reposición del trazado que quedaría sumergido por la construcción del muro. El largo de la variante es de 2.517 m. Adicionalmente se ha proyectado un acceso de 1.832 m de longitud al sector de Pailca que quedaría aislado por el espejo de inundación. Los trazados se presentan en la Figura 4.6.2-4.
Finalmente, para reponer el tramo de la ruta A-459 que se inundaría como consecuencia de la de la construcción del muro proyectado de la alternativa 5, se ha elaborado una variante de 1.971 m, que se utilizaría también como acceso a la parte superior del muro. La variante se presenta en la Figura 4.6.2-5.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.6.2-1**
**VARIANTE DE CAMINO ALTERNATIVA 1**




Fuente: Elaboración Propia


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.6.2-2**
**VARIANTE DE CAMINO ALTERNATIVA 2**

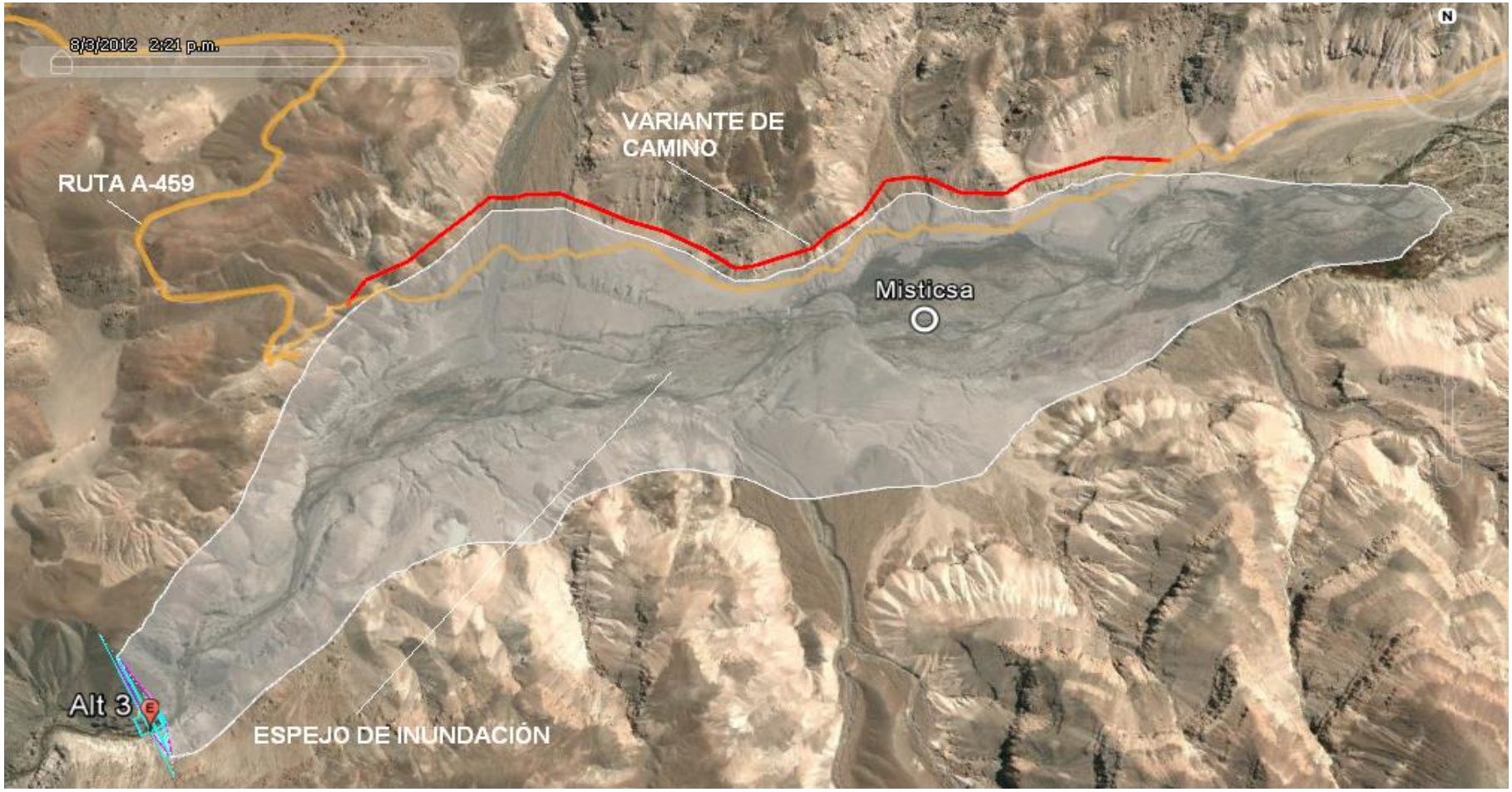



Fuente: Elaboración Propia


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.6.2-3**
**VARIANTE DE CAMINO ALTERNATIVA 3**





Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: Elaboración Propia


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 4.6.2-4**
**VARIANTE DE CAMINO ALTERNATIVA 4**



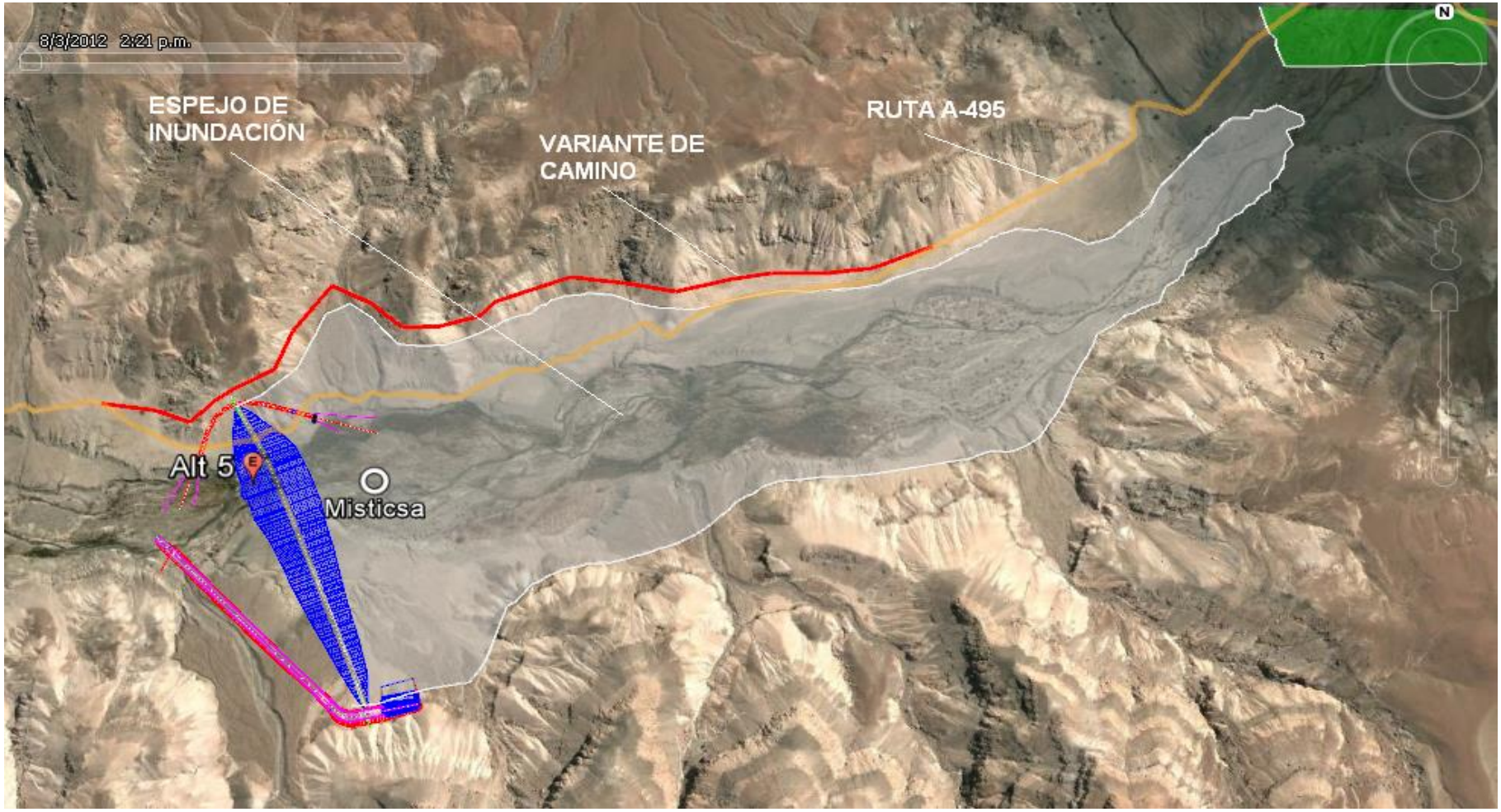


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 4.6.2-5**
**VARIANTE DE CAMINO ALTERNATIVA 5**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Elaboración Propia


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## *4.7. Evaluación para red de canales*

En el presente acápite se presenta la evaluación realizada a la red de canales existentes en la Quebrada de Aroma, desde el sector de Pailca hasta llegar a la pampa del Tamarugal en donde el agua de la quebrada se pierde por efecto de la infiltración y la evaporación. Para ello se utilizó la información recopilada en el catastro de los canales (Anexo 3-3) y la topografía de Google Earth.

Para esta evaluación se siguieron los siguientes pasos:

- Se estimaron las capacidades máximas actuales de cada canal existente.
- Se realizó una estimación de los caudales a transportar por medio de dos metodologías.
- Se definió si era necesario realizar nuevos trazados de canales para satisfacer la demanda de riego.

Las metodologías realizadas y resultados obtenidos se presentan en el desarrollo del capítulo.

### 4.7.1. Capacidad Máxima Actual de los Canales

Dada la existencia de canales en el sector de estudio, se ha realizado una estimación de sus capacidades máxima de porteo, con el fin de que en la determinación de la distribución de las aguas entregadas por el embalse proyectado, no se sobrecarguen canales con caudales mayores a las capacidades reales o bien, se realicen modificaciones a los canales que necesiten una mayor capacidad de porteo. Esto permitirá además, saber si es necesario proyectar nuevos canales en el área de riego.

Cabe indicar que sólo dos de los canales estaban en uso durante las visitas a terreno, y el resto de ellos parecen abandonados y en gran parte de su ellos se encuentran cortados por el paso de las crecidas del río o por el paso de quebradas laterales.

Para definir la capacidad máxima actual de los canales en el área de estudio se procedió de la siguiente manera:

- Se identificó el tipo de material, sección tipo, trazado y pendiente media de cada tramo de canal, a partir del catastro y la topografía disponible en Google Earth.
- Se utilizó la ecuación de Manning para determinar el máximo escurrimiento a superficie libre para cada canal identificado. Los coeficientes de rugosidad utilizados se presentan en el cuadro 4.7.1-1. Los valores se obtuvieron del libro "Hidráulica de los Canales Abiertos, Ven Te Chow".

**CUADRO 4.7.1-1**
**COEFICIENTE DE RUGOSIDAD EN CANALES EXISTENTES**

| Tipo de canal | n |
|---|---|
| Tierra | 0,038 |
| Tubería PVC | 0,011 |

| | |
|---|---|
| Mampostería | 0,030 |
| Hormigón | 0,018 |

Fuente: Elaboración propia

- Para los tramos en tubería se calculó el máximo caudal para la situación en escurrimiento libre.
- Se determinó el tipo de escurrimiento a máxima capacidad de porteo discriminando entre régimen de torrente, régimen en río.

Los cálculos y resultados se presentan en el Anexo 4-9, y en el Cuadro 4.7.1-2 se muestran los caudales máximos posibles de transportar en cada canal acompañado de la longitud y el tipo de material de conducción en el cual se transporta dicho caudal.

**CUADRO 4.7.1-2**

**CAPACIDAD DE PORTEO CANALES EXISTENTES**

| Nombre | Largo (m) | Pendiente (m/m) | Tipo | Material | Uso Actual | n de Manning | Qmax Porteo (L/s) | Régimen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pailca 1 | 216 | 0,042 | Canal | Tierra | No | 0,038 | 372,6 | Supercrítico |
| Pailca 2 | 346 | 0,102 | Canal | Tierra | No | 0,038 | 615,0 | Supercrítico |
| Cala Cala 1 | 633 | 0,000 | Canal | Tierra | No | 0,038 | ≈0 | - |
| Cala Cala 2 | 322 | 0,062 | Canal | Tierra | No | 0,038 | 33,6 | Subcrítico |
| Cala Cala 3 | 345 | 0,017 | Canal | Tierra | No | 0,038 | 2,6 | Subcrítico |
| Ariquilda 1 | 265 | 0,030 | Canal | Tierra | Si | 0,038 | 62,6 | Subcrítico |
| Ariquilda 2 | 422 | 0,047 | Canal | Tierra | No | 0,038 | 26,1 | Supercrítico |
| Ariquilda 3 | 778 | 0,028 | Canal | Tierra | Si | 0,038 | 68,2 | Subcrítico |
| Ariquilda 4 | 384 | 0,013 | Canal | Tierra | No | 0,038 | 41,6 | Subcrítico |
| Curaña | 436 | 0,011 | Canal | Tierra | No | 0,038 | 26,2 | Subcrítico |
| | 18679 | 0,008 | Tubería | PVC | No | 0,011 | 27,8 | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, en el Cuadro 4.7.1-3 se incluye una descripción de los canales observados en terreno.

**CUADRO 4.7.1-3**

**CAPACIDAD DE PORTEO CANALES EXISTENTES**

| Nombre | Descripción | Bocatoma |
|---|---|---|
| Pailca 1 | Canal sin uso. Se aprecia huella en mal estado y estancada | No existe bocatoma |
| Pailca 2 | Canal sin uso. La pendiente se considera en los últimos 150 metros del canal. Sector visible en el tramo anterior se pierde. | No existe bocatoma |
| Cala Cala 1 | Canal sin uso. El canal está destruido por las crecidas que han azotado el sector de Cala Cala. | No existe bocatoma |
| Cala Cala 2 | Canal sin uso y semi borrado. | No existe bocatoma |

| | | |
|---|---|---|
| Cala Cala 3 | Canal sin uso. Lo que queda de canal se pierde a los 118 metros desde donde se puede seguir su huella. | No existe bocatoma |
| Ariquilda 1 | Canal actualmente con riego | Bocatoma en buen estado de piedras y paños |
| Ariquilda 2 | Canal sin uso. Los primeros 264 metros se distingue un tramo medianamente definido de canal luego la huella se pierde y es intermitente | No existe bocatoma |
| Ariquilda 3 | Canal actualmente con riego | Bocatoma en buen estado de piedras y paños |
| Ariquilda 4 | Canal sin uso. Cortado por el paso de una quebrada lateral. Sólo existe una huella del paso del agua | No existe bocatoma |
| Curaña | Canal sin uso. | Bocatoma en mal estado y poco definida |
| | Tubería sin uso. Estancado con tierra y destruida en algunos tramos | |

Fuente: Elaboración propia

### 4.7.2. Estimación Preliminar del Caudal a Transportar

Luego de conocer las capacidades máximas de los canales de la Quebrada de Aroma, se definieron los caudales correspondientes a cada canal, con el fin de determinar si era necesario proyectar nuevos canales en el sector alto (Pailca, Cala Cala y Ariquilda) y bajo (Curaña) de la quebrada, considerando las 400 ha posibles de regar con 85% de seguridad estimadas por el Modelo de Simulación Preliminar. Para obtener dichos caudales se procedió de la siguiente manera:

- Definición de áreas de riego a utilizar en el estudio
- Utilización de tasas de riego preliminares
- Determinación de caudal por canal

#### 4.7.2.1. Definición de Áreas de Riego a Utilizar en el Estudio

Para definir las áreas de riego a utilizar en el estudio se siguieron los siguientes criterios:

- En el sector Alto de la quebrada, desde Pailca a Ariquilda, mantener las superficies que fueron o que actualmente son destinadas al riego y que fueron identificadas en terreno.
- En el sector de Curaña mantener la superficie que fueron destinadas al riego y que fueron identificadas en terreno, además, agregar como área cultivable las vegas presentes en la caja del río que suman aproximadamente 46 ha.
- En la pampa generar una nueva área de riego en actuales terrenos de Bienes Nacionales, aledaña a las tierras concesionadas a la Asociación Indígena Aymara Valle Verde, regadas con aguas captadas en el sector de Curaña.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

El desglose de las áreas consideradas en el estudio se presenta en el Cuadro 4.7.2.1-1.

**CUADRO 4.7.2.1-1**
**DESGLOSE DE ÁREAS DE RIEGO CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO**

| Sector | Nombre | Área por paño de riego (ha) | Área de Riego según Modelo de Simulación Preliminar (ha) |
|---|---|---|---|
| Alto | Pailca | 6,3 | 6,3 |
| | Cala Cala 1 | 1,2 | 17,4 |
| | Cala Cala 2 | 0,6 | |
| | Cala Cala 3 | 1,0 | |
| | Ariquilda 1 | 4,2 | |
| | Ariquilda 2 | 4,2 | |
| | Ariquilda 3 | 5,4 | |
| | Ariquilda 4 | 0,7 | |
| Curaña | Vegas Curaña | 43,3 | 376,3 |
| | Curaña | 2,5 | |
| | Huara Nuevo | 330,5 | |
| **TOTAL** | | **400.0** | **400,0** |

Fuente: Elaboración propia

## 4.7.2.2. Tasas de Riego Preliminares

Las tasas de riego preliminares se calcularon a partir de los resultados del estudio "Construcción Embalse Umirpa para Regadío en Cuenca Vítor, Región de Arica y Parinacota" (CNR, 2013). El valle de Vítor presenta algunas similitudes agroclimáticas y geomorfológicas y productivas que facilitan realizar para un primer acercamiento a la realidad del riego de la quebrada de Aroma y el sector de pampa.

Para el sector de la quebrada de Aroma (Pailca, Cala Cala y Ariquilda) se han utilizado las tasas de riego del sector del valle de Codpa, ya que en ambos casos corresponde a un valle encajonado con alguna presencia de heladas y alta evaporación.

En el caso del sector de la pampa las tasas corresponde las detectadas en el sector de Chaca, que si bien no cumple con las mismas características de ser un terreno totalmente abierto, los parámetros de temperatura, evaporación y precipitación son similares. No obstante, en este caso se ha decidido corregir los valores con un 10% adicional de volumen, debido a la necesidad de incorporar en la pampa un lavado de suelos más intenso, en concordancia con la alta disponibilidad de sales. En el Cuadro 4.7.2.2-1 se presentan las tasas de riego preliminares para la zona.

**CUADRO 4.7.2.2-1**
**TASAS DE RIEGO PRELIMINARES**

| Mes | Sector Quebrada (L/s/ha) | Sector Pampa (L/s/ha) | Sector Pampa + 10% de lavado (L/s/ha) |
|---|---|---|---|
| OCT | 0,52 | 0,39 | 0,43 |
| NOV | 0,57 | 0,38 | 0,42 |

**CUADRO 4.7.2.2-1**
**TASAS DE RIEGO PRELIMINARES**

| Mes | Sector Quebrada (L/s/ha) | Sector Pampa (L/s/ha) | Sector Pampa + 10% de lavado (L/s/ha) |
|---|---|---|---|
| DIC | 0,65 | 0,36 | 0,40 |
| ENE | 0,64 | 0,35 | 0,38 |
| FEB | 0,66 | 0,31 | 0,35 |
| MAR | 0,54 | 0,34 | 0,38 |
| ABR | 0,38 | 0,34 | 0,38 |
| MAY | 0,27 | 0,37 | 0,40 |
| JUN | 0,26 | 0,37 | 0,41 |
| JUL | 0,26 | 0,38 | 0,42 |
| AGO | 0,31 | 0,38 | 0,42 |
| SEP | 0,41 | 0,36 | 0,40 |
| **Anual** | **0,45** | **0,36** | **0,40** |

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que en las próximas etapas del estudio (Capítulo 7) se realiza un análisis detallado de las tasas de riego del área de estudio a partir de las encuestas de terreno y el estudio agroclimático respectivo, las que difieren de las presentadas en el Cuadro 4.7.2.2-1. Estas tasas formarán parte del modelo de simulación definitivo del embalse.

## 4.7.2.3. Caudal a Transportar por Canal

Se utilizaron dos métodos para la estimación de los caudales por sector de riego y los caudales a transportar por cada canal existente. El primero consideró el número de acciones de agua reconocidas en la quebrada de Aroma y el segundo, la superficie que eventualmente regaría cada canal.
Luego de obtener los caudales se utilizó de manera conservadora el mayor de los caudales por canal, para definir si su capacidad de porteo permitía satisfacer las demandas obtenidas por ambos métodos.

- **Caudal Según Número de Acciones**

Según los antecedentes recopilados del estudio "Diagnóstico y Propuestas de Fomento al Riego y Drenaje para la Pequeña Agricultura y Etnias Originales Agricultura de Pueblos Originarios (CNR, 2008) y los facilitados recientemente por la encargada CNR de la región de Tarapacá Srta. Elsa Aciares, existen 4 puntos en donde se ha solicitado derechos de agua en la Quebrada de Aroma, los cuales se presentan en el Cuadro 4.7.2.3-1. Con esta información se evaluaron los canales. Los antecedentes recopilados se incluyen en el Anexo 4-10.

**CUADRO 4.7.2.3-1**
**DERECHOS SUPERFICIALES EN QUEBRADA DE AROMA, DATUM SIRGAS HUSO 19**

| Nº Expediente | Nombre | Etnia | Fuente | Coord. E | Coord. N | Qsol (L/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| NR-0103-1323 | Asoc. Indígena Aymara Valle Verde | Aymara | Bocatoma Quiñiza | 427.155 | 7.805.215 | 32,3 |
| NR-0103-1017 | A.I.A Hijos de La Quebrada de Aroma | Aymara | Río Aroma Sector Jacilga | 452.050 | 7.831.536 | 471,4 |
| NR-0103-1323 | Asoc. Indígena Aymara Valle Verde | Aymara | Bocatoma Milagro | 428.194 | 7.807.766 | 9,5 |
| NR-0103-1020 | Unión Chacareros Puchuldiza | Aymara | Bocatoma Curaña | 429.249 | 7.810.708 | 0,36 |

Fuente: CNR

La ubicación de los derechos correspondientes a la AIA Hijos de La Quebrada de Aroma coinciden con el sector de Cala Cala, sin embargo no se identificaron bocatomas en donde captar las aguas, ni trabajos para habilitar la zona, la cual se encuentra muy degastada y dañada por el efecto de las crecidas del río. Se considera poco fiable considerar una obra de conducción para un caudal cercano a los 470 L/s en este sector.

La ubicación de los derechos correspondientes a la Unión Chacareros de Puchuldiza coincide con el inicio del canal Curaña por lo que se considera que la capacidad a transportar de dicho canal incluiría los 0,36 L/s correspondiente a dicha a asociación.

Los puntos de captación pertenecientes a la AIA Valle Verde se ubican aguas abajo de la captación del canal Curaña, a unos 3 y 6 Km aproximadamente, pero no se localizaron en terreno. Es posible que todos los derechos se hayan juntado en un mismo punto de captación cuando se realizó el proyecto "Conducción de 20.000 M.L. de Polietileno y Habilitación de 5 Hectáreas con Cultivo de Riego por Goteo para 60 Familias" financiado por CONADI y la Ilustre Municipalidad de Huara, que se desarrolla desde Curaña hasta la Pampa Cerro Unitas donde se ubica la AIA Valle Verde, colindantes con la Carretera Huara-Colchane.

Bajo dicho supuesto el caudal a transportar por la tubería sería la suma de los derechos de propiedad de la AIA Valle Verde y la Unión Chacareros de Puchuldiza lo cual suma un caudal de 42,6 L/s.

- **Caudal Según Área**

Para estimar el caudal a transportar por la red de canales existentes y los nuevos trazados asociados a las nuevas áreas de riego, se siguió la siguiente metodología:

- A partir de la cartografía disponible en Google Earth se asignó a cada canal identificado en terreno un área de riego, tal como se indica en la Figura 4.7.2.3-1.
- A las nuevas áreas se les asigna un nuevo canal.
- Conocida el área y la tasa de riego se calculó el caudal de cada canal considerando la máxima tasa de riego.

## FIGURA 4.7.2.3-1
## EJEMPLO ASIGNACIÓN DE ÁREAS DE RIEGO A CANALES EXISTENTES


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*




Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 4.7.2.3-2 se incluye un resumen de las superficies de riego, los canales asociados a cada sector presente, pasado o futuro de riego y su caudal. Los cálculos y resultados se presentan en el Anexo 4-11.

**CUADRO 4.7.2.3-2**
**CAUDAL POR CANAL SEGÚN SUPERFICIE DE RIEGO**

| Sector | Nombre Canal | Descripción Canal | Área por paño de riego (ha) | Tasa de Riego Máxima Mensual (L/ha/s) | Caudal por Sector (L/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| Alto | Pailca1 | Existe trazado. Sin uso actual | 2,3 | 0,66 | 1,5 |
| | Pailca2 | Existe trazado. Sin uso actual | 4,1 | 0,66 | 2,7 |
| | Cala Cala 1 | Trazado semi borrado. Sin uso actual | 1,2 | 0,66 | 0,8 |
| | Cala Cala 2 | Trazado semi borrado. Sin uso actual | 0,6 | 0,66 | 0,4 |
| | Cala Cala 3 | Trazado en su mayoría destruido por crecidas | 1,0 | 0,66 | 0,7 |
| | Ariquilda 1 | Existe Trazado. Con uso actual | 4,2 | 0,66 | 2,8 |
| | Ariquilda 2 | Trazado semi borrado. Sin uso actual | 4,2 | 0,66 | 2,8 |
| | Ariquilda 3 | Existe Trazado. Con uso actual | 5,4 | 0,66 | 3,6 |

## CUADRO 4.7.2.3-2
## CAUDAL POR CANAL SEGÚN SUPERFICIE DE RIEGO

| Sector | Nombre Canal | Descripción Canal | Área por paño de riego (ha) | Tasa de Riego Máxima Mensual (L/ha/s) | Caudal por Sector (L/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Ariquilda 4 | Trazado semi borrado. Sin uso actual | 0,7 | 0,66 | 0,5 |
| Curaña | Vegas Curaña | No Existe | 43,3 | 0,66 | 18,7 |
| | Curaña | Existe. Sin uso actual | 2,5 | 0,43 | 1,1 |
| | Conducción Curaña-Cerro Unitas | Existe. Sin uso Actual | 330,5 | 0,43 | 142,7 |
| **TOTAL** | | | **400,0** | **-** | **178,0** |

Fuente: Elaboración Propia

- **Aforos y Pérdidas por conducción**

Se estimaron las pérdidas por conducción por medio e aforos, utilizando el método del flotador, el cual consiste resolver la ecuación Q=v*A en donde Q es el caudal (m/s), v la velocidad del flujo (m/s) y A el área transversal de la sección del canal ($m^2$). Para ello se mide el tiempo de viaje que demora un flotador en recorrer una distancia determinada lo que permite calcular la velocidad del flujo, luego conocida su sección se obtiene el caudal el cual se corrige con factor de 0,7 que corrige la velocidad por efecto del roce con las paredes del canal.
Las mediciones sólo se pudieron realizar en los canales de Ariquilda 1 y Ariquilda 3 ya que el resto se encuentran abandonados y sin uso.
Las mediciones en ambos canales (55 L/s) y (63 L/s) no presentaron variaciones en el tramo desde la bocatoma hasta la primera entrega, esto debido a que la distancia entre un punto al otro es cercana a los 202 m en Ariquilda 1 y de 185 m en Ariquilda 3.

- **Caudal Asignado a Cada Canal**

En el Cuadro 4.7.2.3-3 se resumen los caudales calculados en los acápites anteriores. Se aprecia que los caudales por derechos no son representativos de las superficies a regar en el sector alto del valle, y que la mayoría de los canales no poseen derechos.
Las capacidades de porteo de los canales existentes son generalmente mayores a los caudales estimados a partir de las tasas de riego por lo que no se tendría que aumentar la sección de los canales. Si se estima conveniente construir canales de hormigón que faciliten su limpieza y perdurabilidad.
Los caudales necesarios para regar las áreas agrícolas consideradas en el Modelo de Simulación Preliminar son bajos, lo que conlleva a diseños de bajo costo en la mayoría de los casos. Solo se debe tener cuidado en el diseño de la tubería para 147 L/s que se proyecta en escurrimiento libre.

Finalmente se recomienda considerar los caudales estimados según el área de riego para las próximas etapas del estudio.

**CUADRO 4.7.2.3-3**

**CAUDAL POR CANAL SEGÚN SUPERFICIE DE RIEGO**

| Sector | Nombre Canal | Capacidad máxima de Porteo (L/s) | Caudal según derechos de agua (L/s) | Caudal según área de riego (L/s) |
|---|---|---|---|---|
| Alto | Pailca1 | 372,6 | - | 1,5 |
| | Pailca2 | 615,4 | - | 2,7 |
| | Cala Cala 1 | 0,0 | 471,4 | 0,8 |
| | Cala Cala 2 | 33,6 | - | 0,4 |
| | Cala Cala 3 | 2,6 | - | 0,7 |
| | Ariquilda 1 | 62,6 | - | 2,8 |
| | Ariquilda 2 | 26,1 | - | 2,8 |
| | Ariquilda 3 | 68,2 | - | 3,6 |
| | Ariquilda 4 | 41,6 | - | 0,5 |
| Curaña | Vegas Curaña | - | - | 18,7 |
| | Curaña | 26,2 | 42,29 | 142,7 |
| | Conducción Curaña-Cerro Unitas | | | |

Fuente: Elaboración Propia

## 4.7.3. Desarrollo de los Trazados

Luego de analizar la infraestructura de los canales existentes en la zona de estudio y estimar los caudales que transportarían cada uno de estos, se concluye que no es necesario realizar nuevos trazados para satisfacer la demanda de agua del sector agrícola de la parte alta del valle pero si se propone realizar un mejoramiento de ellos, revistiéndolos en todo si desarrollo ya que de esta manera se mejora su conducción, se facilita su limpieza y perdurabilidad.

Respecto a los canales en el sector de Curaña es necesario el trazado de un nuevo canal para regar el sector denominado como Vegas de Curaña, aumentar la capacidad del canal Curaña en su tramo de tierra y también en su tramo en tubería (Conducción Curaña-Cerro Unitas). Los mejoramientos y nuevas dimensiones se incluyen en el Cuadro 4.7.3-1. Los trazados de las nuevas conducciones se presentan en las Figuras 4.7.3-1 y 4.7.3-2.

**CUADRO 4.7.3-1**

**MEJORAMIENTOS DE CANALES QUEBRADA DE AROMA**

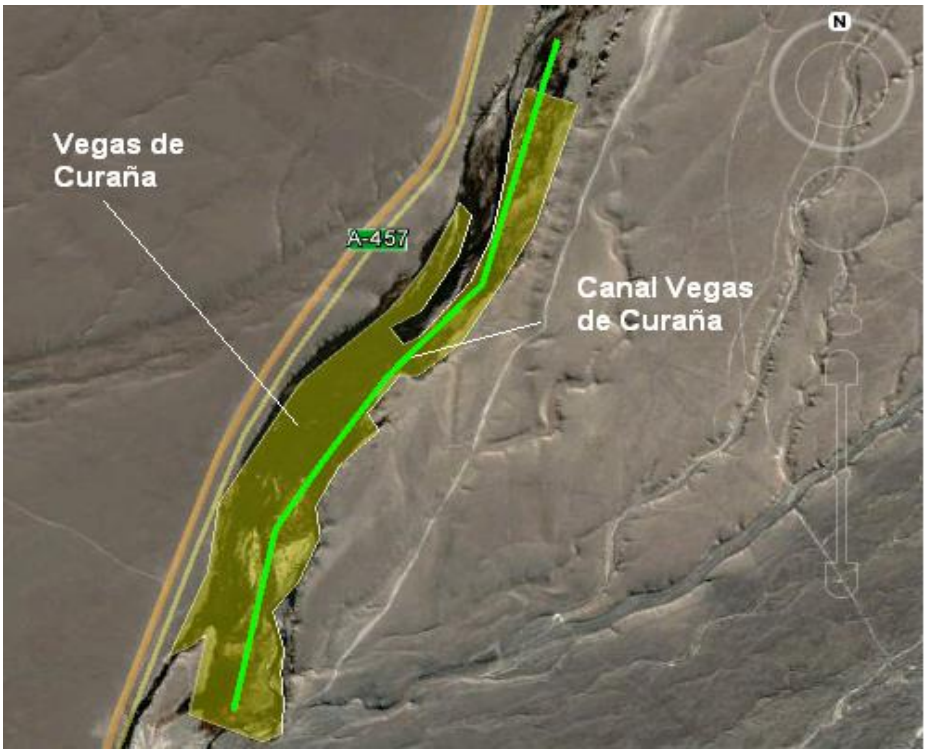
| Sector | Nombre Canal | Largo (L/s) | Mejoramiento (L/s) |
|---|---|---|---|
| Alto | Pailca1 | 216 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Pailca2 | 346 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |

## CUADRO 4.7.3-1
## MEJORAMIENTOS DE CANALES QUEBRADA DE AROMA

| Sector | Nombre Canal | Largo (L/s) | Mejoramiento (L/s) |
|---|---|---|---|
| | Cala Cala 1 | 633 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Cala Cala 2 | 322 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Cala Cala 3 | 345 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Ariquilda 1 | 265 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Ariquilda 2 | 422 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Ariquilda 3 | 778 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Ariquilda 4 | 384 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| Curaña | Vegas Curaña | 2.000 | Desarrollar un canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Curaña | 440 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,45 m y b= 0,3 m |
| | Conducción CU-C.U. | 18.239 | Desarrollar una tubería de Diámetro D= 400 mm en HDPE |

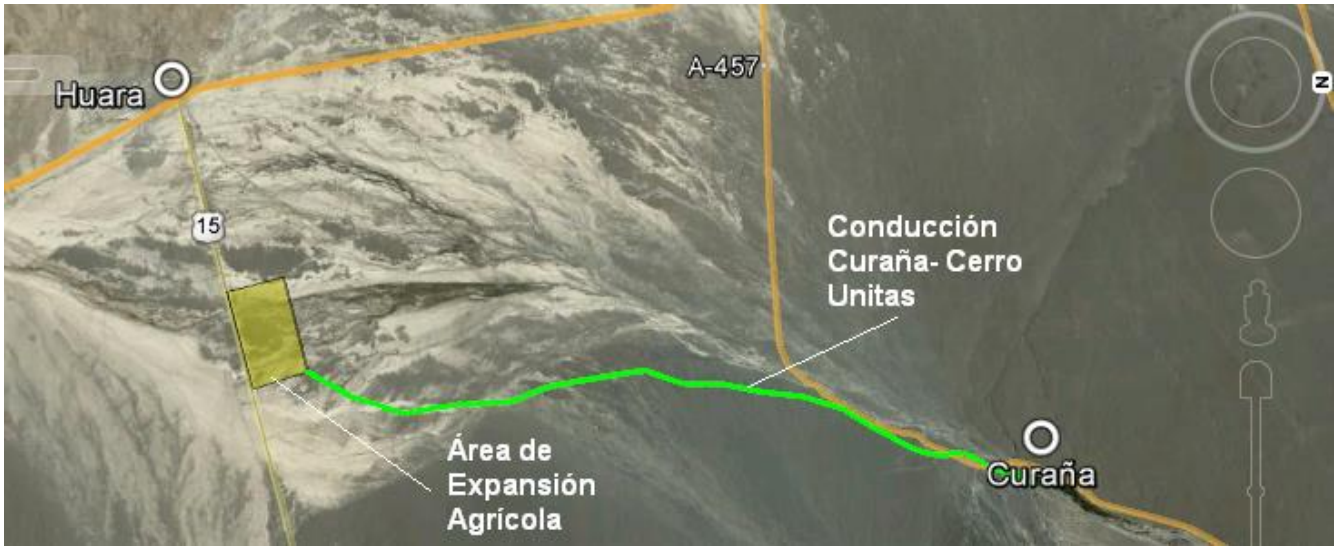
Fuente: Elaboración propia

## FIGURA 4.7.3-2
## TRAZADO CANAL VEGAS DE CURAÑA




Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 4.7.3-2**
**TRAZADO CONDUCCIÓN CURAÑA-CERRO UNITAS**




Fuente: Elaboración propia

## *4.8. diseño simplificado de alternativas de embalse y red de distribución*

El objetivo del presente acápite es elaborar los diseños simplificados de cada alternativa de embalse, incluyendo sus obras de conducción y distribución, y determinar los costos de su construcción, considerando los volúmenes totales del escenario con proyecto.
Para ello se utilizaron las curvas de nivel del modelo de elevación pertenecientes al programa Google Earth.
El costo de las obras anexas se determinó efectuando algunos prediseños para las obras más importantes. El costo de las obras complementarias, expropiaciones y de mitigación de los impactos medioambientales negativos que se visualicen, se consideraron en forma estimativa.

### 4.8.1. Diseño Simplificado de la presa

#### 4.8.1.1. Criterios de Diseño

Para el prediseño simplificado de las alternativas de embalse se han considerado los siguientes aspectos:

- **Volumen Total:** corresponde a la suma de los volúmenes muerto, útil y el asociado a la revancha del embalse. El volumen muerto se destina para la acumulación de sedimentos durante la vida útil de la obra de 50 años. El volumen útil se obtiene bajo los criterios del acápite 1.6 del presente informe.

- **Caudal de diseño para la desviación del escurrimiento durante el periodo de construcción:** El período de retorno asociado a esta crecida deberá determinarse de modo tal que el riesgo hidrológico no sea mayor al 10%, de acuerdo a lo indicado en el "Reglamento de Obras Mayores de la Dirección General de Aguas", 2011. Se estima un periodo de 2 años para la construcción de las obras.

- **Caudal de diseño para el evacuador de seguridad.** Los períodos de retorno para el diseño del evacuador de seguridad de los embalses de agua, serán los siguientes:

- 1. Categoría A: 250 años

- 2. Categoría B: 500 años

- 3. Categoría C: 1.000 años

Donde cada categoría y recomendación de caudal de diseño se define en el "Reglamento de Obras Mayores de la Dirección General de Aguas", 2011. En las alternativas 1, 4 y 5 se recomienda un vertedero lateral, mientras que en la alternativa 2 y 3 uno del tipo frontal. Un análisis detallado del vertedero se efectuará en los tres sitios seleccionados, incluyéndose un análisis del tipo de vertedero. En efecto, es posible que un vertedero de copa sea económicamente atractivo en comparación a uno de tipo lateral, según el sitio seleccionado, ya que además su ducto horizontal podría ser utilizado como obra de desviación para la construcción.

- **Crecida de verificación**. La capacidad del evacuador de seguridad de los embalses de agua, deberá ser verificada para las crecidas correspondientes a los siguientes períodos de retorno:

  1. Categoría A: 500 años
  2. Categoría B: 1.000 años
  3. Categoría C: 10.000 años

- **Revancha**. Para efectos de este análisis se considera sólo la revancha necesaria para la crecida de diseño, más una holgura de 1,5 m en donde se incluye de manera preliminar las revanchas por oleaje y asentamiento. En caso de que la obra evacuadora no sea capaz de desaguar la crecida de verificación se aumentará la revancha.

- **Tipo de Muro**. Para las alternativas 1, 4 y 5, se diseñó un muro tipo CFGD (Concrete Face Gravel Dam) y para la alternativa 2 y 3 se diseñó un muro de hormigón rodillado, RCC (Roller Compact Concrete) por las características morfológicas del sitio.

- Para la presa CFGD, se consideraron taludes para el muro de H:V = 2:1, tanto para el talud de aguas arriba como para el de aguas abajo.

- Para ambos tipos de presa, CFGD y RCC, se dispone prácticamente de la mayor parte de los materiales requeridos en el mismo lugar de la presa.

- No hay finos para un muro de tierra.

Por lo anterior, ambos tipos son los más económicos y rápidos de construir. Dadas las características de fracturamiento de la roca, tanto en los estribos como probablemente en la fundación, se consideran inyecciones a diferentes profundidades a lo largo del plinto para las presas de CFGD, a una distancia intercalada de 3 m.

- **Obra de Toma:** Para la presa CFGD se aprovecha el túnel de desvío para la instalación de la obra de toma y tubería de entrega a riego dentro de éste mismo, de acuerdo a lo que se ha visto en la construcción de embalses en los últimos años, como es el caso del embalse Santa Juana. En el caso de la presa RCC la obra de toma se proyecta a través del muro de hormigón.

## 4.8.1.2. Cálculos y Dimensiones de las obras proyectadas

A continuación se presentan los cálculos realizados para la determinación de la obra de desvío y la capacidad total conforme a los criterios de diseño señalados en el acápite anterior.

- **Obra de Desvío**

Para desviar las aguas durante la construcción de las obras se proyectaron en forma preliminar obras para cada una de las alternativas de ubicación del embalse. Estas obras se dimensionaron de acuerdo a lo indicado por el Reglamento de Obras Mayores de la DGA el cual señala que el período de retorno asociado a la crecida de diseño para la desviación del escurrimiento durante el período de construcción deberá determinarse de modo tal que el riesgo hidrológico no sea mayor al 10%.
La ecuación del riesgo hidrológico está dada por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Donde R es el riesgo hidrológico (º/1), T el periodo de retorno (año) y n el número estimado de años que demora la construcción de las obras.
Al evaluar la ecuación para un R =10% y un tiempo de construcción estimado "n" igual a dos años, el valor de T es 19,49 años. Para los efectos del cálculo se adoptó un T = 20 años para el diseño de la obra de desvío. Del estudio de crecidas preliminar se tiene que el caudal asociado a dicho periodo es de 289,5 $m^3/s$ para la alternativa ALT1, de 289,8 $m^3/s$ para las alternativas ALT2 y ALT3; de 333,8 $m^3/s$ para las alternativas ALT4 y de 288,9 $m^3/s$ para la alternativa ALT5.
En las alternativas ALT2 y ALT3 se proyectó un conducto cuadrado con el radier a nivel del suelo y escurrimiento a superficie libre, dispuesto bajo el muro de la presa RCC. Para definir el tamaño del ducto se cumplió con la relación hn/D=0,7, criterio usualmente utilizado para definir las dimensiones en acueductos (hn altura normal de escurrimiento y D altura del cajón). La dimensión adoptada del cajón para ambos casos es de 7,6x7,6 m.
Por otra parte, en las alternativas ALT1, ALT4 y ALT5 se proyectó un túnel de medio punto a través de la montaña en donde se apoya el muro CFGD con escurrimiento a superficie libre. Para definir las dimensiones del túnel se tantearon diferentes tamaños para cumplir con $hn/D_{tun}$=0,7 donde $D_{tun}$ corresponde al diámetro del túnel de medio punto. Finalmente, se adoptó una sección de lado $D_{tun}$ = 7,6 m, para las alternativas ALT1 y ALT5 y de 7,9 m para la alternativa ALT4.

Bajo los criterios anteriores se obtuvieron las dimensiones de las obras de desvío presentadas en el Cuadro 4.8.1.2-1. En el Anexo 4-12 se detallan los cálculos.

**CUADRO 4.8.1.2-1**
**CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES DE LA OBRA DE DESVÍO**

| Variable | ALT1 | ALT2 y ALT3 | ALT4 | ALT5 |
|---|---|---|---|---|
| **Caudal de diseño Q ($m^3/s$)** | 289,5 | 289,8 | 333,8 | 288,9 |
| **Tipo** | Túnel de Medio Punto | Cajón | Túnel de Medio Punto | Túnel de Medio Punto |
| **Dimensiones** | 7,6X7,6 | 7,6x7,6 | 7,9X7,9 | 7,6X7,6 |
| **Pendiente túnel i** | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 |
| **Rugosidad del túnel n** | 0,018 | 0,018 | 0,018 | 0,018 |
| **Base del túnel b (m)** | 7,6 | 7,6 | 7,9 | 7,6 |
| **Caudal por unidad de ancho q ($m^3/s/m$)** | 38,1 | 38,1 | 42,2 | 38,1 |
| **Número de Froude** | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| **Radio de cielo del túnel R (m)** | 3.8 | - | 3.95 | 3.8 |
| **Altura de Muro vertical del túnel al (m)** | 3.8 | - | 3.95 | 3.8 |
| **Altura de escurrimiento normal hn (m)** | 5,30 | 5,24 | 5,55 | 5,30 |
| **Relación hn/D; $hn/D_{tun}$** | 0,70 | 0,69 | 0,70 | 0,70 |
| **Relación At/A** | 0,77 | - | 0,8 | 0,8 |
| **Velocidad de Escurrimiento (m/s)** | 7,2 | 7,28 | 7,5 | 7,2 |

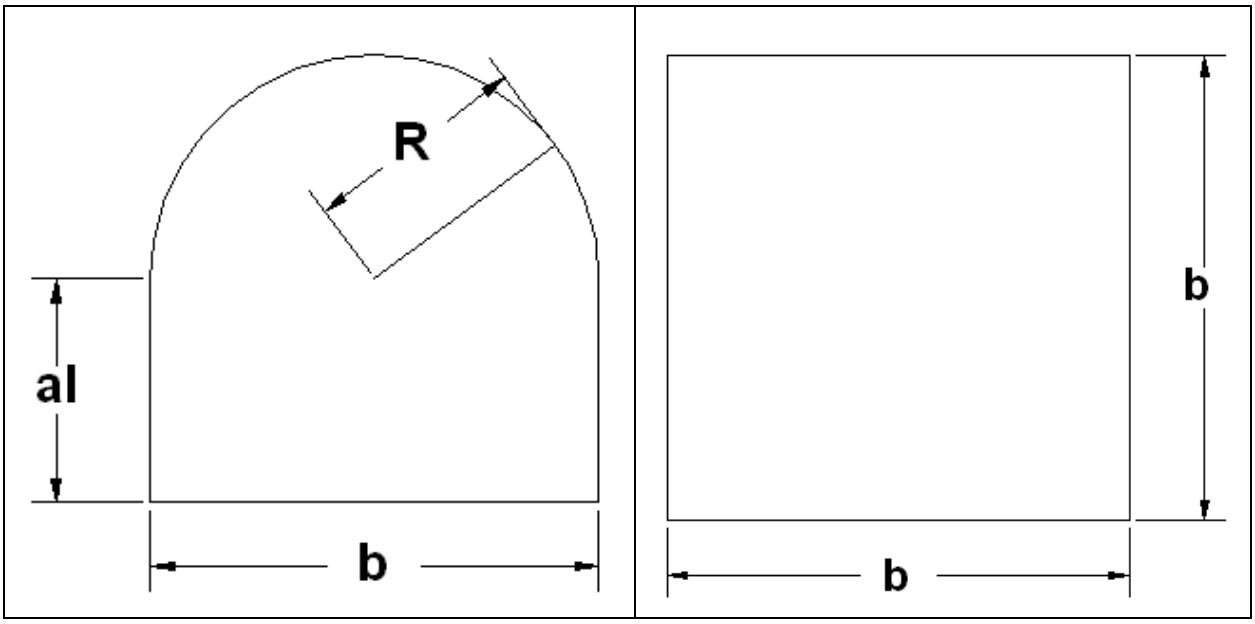
Fuente: Elaboración propia

El valor del número de Froude en todos los casos es igual a 1, lo que indica que el flujo dentro el cajón y el túnel es crítico. Se cumple con la relación hn/D y $hn/D_{tun}$. En la Figura 4.8.1.2-1 se presentan las dimensiones de las secciones por alternativa.

**FIGURA 4.8.1.2-1**
**DIMENSIONES TÚNEL MEDIO PUNTO Y CAJÓN**

| ALT1, ALT4 Y ALT5 | ALT2 Y ALT3 |
|---|---|


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*




Fuente: Elaboración propia

- **Capacidad Total**

La Capacidad Total del embalse se compone del Volumen Muerto, Volumen Útil, y el Volumen de Revancha definido para la evacuación de Crecidas. A continuación se muestra la estimación preliminar de la Capacidad Total necesaria en cada una de las alternativas de estudio:

El Volumen Muerto corresponde al volumen estimado de sedimentos que se acumularán en el embalse producto de los sólidos generados por la cuenca asociada a cada alternativa durante la vida útil del proyecto de 50 años. Se ha definido este volumen para las cinco alternativas de sitio.

Para la estimación del volumen preliminar de sedimentos en suspensión (GSS) del embalse, se aplicaron los siguientes métodos simplificados:

- Perdida Universal de Suelo Modificada, MUSLE: Esta metodología permite estimar el volumen de pérdida de suelo asociada a distintos eventos de crecidas, corresponde a una versión modificada de la metodología USLE.

- Método SCS, PSIAC: Esta metodología permite estimar las tasas de erosión según las características propias de la cuenca, en la que se consideran aspectos como geología, topografía, uso de suelo, clima, erosión superficial, cubierta, erosión de cauce.

En el Cuadro 4.8.1.2-2 se muestra el resumen de la producción de sedimento (GSS) según cada metodología utilizada para las distintas zonas de embalse en Pintanane. Los cálculos se encuentran en el Anexo 4-13.

**CUADRO 4.8.1.2-2**
**GSS MEDIANTE METODO MUSLE Y PSIAC**

| Alternativa | Metodología |
|---|---|

| | MUSLE (t/día/km$^2$) | PSIAC Rango Inf. (t/día/km$^2$) | PSIAC Rango Sup. (t/día/km$^2$) |
|---|---|---|---|
| ALT1 | 1,13 | 0,33 | 0,82 |
| ALT2 | 1,13 | 0,33 | 0,82 |
| ALT3 | 1,13 | 0,33 | 0,82 |
| ALT4 | 1,13 | 0,33 | 0,82 |
| ALT5 | 1,14 | 0,33 | 0,82 |

Fuente: Elaboración propia

El Gasto Solido de Arrastre de Fondo (GSF) se estima como el 10% del GSS estimado a partir de ambas expresiones. El Gasto de sólidos Total es la suma de los anteriores. Se ha considerado una eficiencia de retención igual a (60%), lo que define el volumen muerto más realista. En el Cuadro 4.8.1.2-3 se muestra la tasa considerando el gasto solido total y la eficiencia de atrape.

**CUADRO 4.8.1.2-3**

**TASA DE SEDIMENTO TOTAL MEDIANTE MUSLE Y PSIAC**

| Alternativa | Metodología | | |
|---|---|---|---|
| | MUSLE (t/día/km2) | PSIAC Rango Inf. (t/día/km2) | PSIAC Rango Sup. (t/día/km2) |
| ALT1 | 0,75 | 0,22 | 0,54 |
| ALT2 | 0,75 | 0,22 | 0,54 |
| ALT3 | 0,75 | 0,22 | 0,54 |
| ALT4 | 0,75 | 0,22 | 0,54 |
| ALT5 | 0,75 | 0,22 | 0,54 |

Fuente: Elaboración propia

Otra expresión para estimar la producción de sedimentos corresponde a la expresión obtenida de diferentes embalses según la USBR (Small Dams, 1974). Esta expresión se obtuvo a partir de la cantidad de sedimento acumulado en 28 embalses en cuencas semiáridas. En el Cuadro 4.8.1.2-4, se muestra el valor de la tasa obtenida mediante USBR. Esta expresión considera sedimentos en suspensión y de arrastre que han quedado atrapados en los embalses, por lo que no se debe considerar factores de eficiencia de atrape.

**CUADRO 4.8.1.2-4**

**TASA DE SEDIMENTO TOTAL MEDIANTE USBR**

| Alternativas | Metodología | |
|---|---|---|
| | USBR Rango Medio (t/día/km$^2$) | USBR Rango Inferior (t/día/km$^2$) |
| ALT1 | 0,33 | 0,13 |
| ALT2 | 0,33 | 0,13 |
| ALT3 | 0,33 | 0,13 |
| ALT4 | 0,32 | 0,13 |

| | | |
|---|---|---|
| ALT5 | 0,33 | 0,13 |

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos mediante la metodología de MUSLE se consideran altos, mientras que la tasa inferior de la USBR entrega los valores más bajos. Se adopta como representativo los valores obtenidos por el Método PSIAC considerando el promedio entre el rango inferior y superior como el volumen muerto representativo. Los volúmenes calculados se presentan en el Cuadro 4.8.1.2-5.

## CUADRO 4.8.1.2-5
## ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL VOLUMEN MUERTO

| Alternativas | Metodología | | |
|---|---|---|---|
| | PSIAC Rango Inf. ($hm^3$) | PSIAC Rango Sup. ($hm^3$) | Promedio ($hm^3$) |
| ALT1 | 3,0 | 7,4 | 5,2 |
| ALT2 | 3,0 | 7,4 | 5,2 |
| ALT3 | 3,0 | 7,4 | 5,2 |
| ALT4 | 3,5 | 8,7 | 6,1 |
| ALT5 | 2,9 | 7,4 | 5,2 |

Se consideran 50 años de operación del embalse; $\gamma = 1.65\ t/m^3$

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se adoptó en esta etapa preliminar un valor de 6,0 $hm^3$ como valor inicial para las 5 alternativas de embalse.

El Volumen Útil se obtuvo del modelo de simulación preliminar simplificado presentado en el Anexo (4-8). Se consideró un caudal de entrada al embalse (Qa), Evaporación (Ev), Infiltración (Inf) y un caudal de entrega (Qe) a tres sectores de riego:

Sector 1 : Corresponde al sector de Quebrada ubicado aguas abajo de la alternativa de embalse 1,2,3 y 5, y aguas arriba de la junta de Quebrada de Aroma con Quebrada de Sotoca.

Sector 2 : Corresponde al sector de quebrada ubicado aguas abajo de la junta de la Quebrada de Aroma con Quebrada de Sotoca.

Sector 3 : Corresponde al sector de quebrada ubicado en el sector de la Pampa.

Cabe destacar que dadas las características de la zona de embalse se tuvo especial cuidado en la simulación de la evaporación para la definición del volumen útil, puesto que considera una de las principales pérdidas. En el Cuadro 4.8.1.2-6 se muestra el volumen útil y volumen umbral.

## CUADRO 4.8.1.2-6
## VOLUMEN ÚTIL Y VOLUMEN TOTAL

| Alternativas | Área Riego | Vol. Muerto | Vol. Útil | Vol. Umbral |
|---|---|---|---|---|
| | ha | $hm^3$ | $hm^3$ | $hm^3$ |
| ALT1 | 400 | 6,0 | 9,16 | 15,16 |
| ALT2 | 400 | 6,0 | 9,54 | 15,54 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ALT3 | 400 | 6,0 | 9,54 | 15,54 |
| ALT4 | 400 | 6,0 | 7,10 | 13,10 |
| ALT5 | 400 | 6,0 | 9,16 | 15,16 |

Fuente: Elaboración propia

Sumando el volumen útil y el volumen muerto se obtiene el volumen de umbral que corresponde al máximo volumen que el embalse puede almacenar sin presentar descargas por la obra evacuadora, que en este caso no presenta control alguno. En el Cuadro 4.8.1.2-7 se presentan las cotas de fondo, volumen muerto y la cota de rebasé (Volumen Muerto + Volumen Útil).

## CUADRO 4.8.1.2-7
## COTAS ASOCIADAS A VOLUMENES TOTALES

| Alternativas | Cota Fondo | Cota Vol. Muerto | Cota Vol. Muerto + Vol. Útil. |
|---|---|---|---|
| | msnm | msnm | msnm |
| ALT1 | 1.938,0 | 1.969,4 | 1.982,0 |
| ALT2 | 1.938,0 | 1.966,2 | 1.979,1 |
| ALT3 | 1.938,0 | 1.964,7 | 1.977,6 |
| ALT4 | 1.722,0 | 1.750,3 | 1.761,6 |
| ALT5 | 1.960,0 | 1.987,3 | 2.000,5 |

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para obtener el volumen asociado a la revancha del embalse se calcula las dimensiones del vertedero. Para las alternativa 1, 4 y 5 se piensa en vertedero lateral mientras que en las alternativas 2 y 3 el vertedero proyectado es frontal.

La crecida de diseño del vertedero se asocia a la categoría a la cual pertenece el embalse (A, B o C), de acuerdo a los criterios descritos en el Manual de Obras Mayores de la DGA, que se indican a continuación:

- Categoría A: Pequeños, de altura de muro máxima mayor a 5 m e inferior a 12 m, o bien de capacidad superior a 50.000 $m^3$ e inferior a 1.500.000 $m^3$.
- Categoría B: Medianos, de altura de muro máxima mayor o igual a 12 m e inferior a 30 m, o bien de capacidad igual o superior a 1.500.000 $m^3$ e inferior a 60.000.000 $m^3$.
- Categoría C: Grandes, de altura máxima de muro igual o superior a 30 m, o bien de capacidad igual o superior a 60.000.000 $m^3$.

La altura en las tres categorías corresponde a la diferencia entre la cota del suelo y la cota de coronamiento del muro.

Con la intención de determinar la categoría de las alternativas propuestas, se utilizó la curva de embalse para conocer la altura del muro asociado al volumen de umbral. En el Cuadro 4.8.1.2-7 se presentan las alturas y volúmenes estimados para cada alternativa y su respectiva categoría.

## CUADRO 4.8.1.2-8
## CATEGORÍA EMBALSE

| Alternativa | Altura Volumen Umbral (m) | Volumen Umbral ($hm^3$) | Categoría |
|---|---|---|---|
| ALT1 | 44,0 | 15,16 | C |
| ALT2 | 41,1 | 15,54 | C |
| ALT3 | 39,6 | 15,54 | C |
| ALT4 | 39,6 | 13,10 | C |
| ALT5 | 40,5 | 15,16 | C |

Fuente: Elaboración propia

Si bien los volúmenes de todas las alternativas no superan los 60 $hm^3$, las alturas de los muros indicados en el Cuadro 4.8.1.2-8 superan holgadamente los 30 m sin incluir la revancha, por lo tanto todas las alternativas consideran un embalse tipo C.

Conocida la categoría de cada alternativa se procede a calcular la altura de agua sobre el vertedero. El caudal de diseño es el asociado a un periodo de retorno de 1.000 años y su caudal de verificación es el asociado a un periodo de retorno de 10.000 años. Los caudales de Diseño y Verificación se presentan en el Cuadro 4.8.1.2-9.

## CUADRO 4.8.1.2-9
## CAUDALES DE DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE OBRAS DE EVACUACIÓN

| Alternativa | Caudal de Diseño ($m^3/s$) | Caudal de Verificación ($m^3/s$) |
|---|---|---|
| ALT1 | 856 | 1.390 |
| ALT2 | 856 | 1.391 |
| ALT3 | 856 | 1.391 |
| ALT4 | 985 | 1.597 |
| ALT5 | 854 | 1.387 |

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las alternativas con presa tipo CFGD, se utilizó como criterio que la revancha no sobrepasara los 5 m de altura para la crecida de periodo de retorno de 10.000 años. En el Caso de las presas RCC, se consideró que la carga sobre el vertedero para el caudal de diseño no superara los 5 m, pero se admitió que sobrepasara dicha altura para la crecida de verificación, ya que el tipo de presa lo permite.

La longitud de vertedero se indica en el Cuadro 4.8.1.2-9. Aplicando la ecuación de descarga del vertedero se obtiene la altura de agua sobre el vertedero:

$$Q = C \cdot L \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot h \cdot g}$$

Donde Q es el caudal de diseño $m^3/s$, C el coeficiente de gasto, L el largo del vertedero (m), g la aceleración de gravedad ($m/s^2$) y h la altura de energía sobre el vertedero.

El coeficiente de gasto "C" para los vertederos tipo Ogee varía con la carga relativa $h/H_d=\lambda$, donde $H_d$ corresponde a la altura de escurrimiento de diseño. Según Mery (2007) los antecedentes experimentales permiten establecer la siguiente ecuación para el coeficiente de gasto:

$$C = \frac{2}{3 \cdot \sqrt{3}} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot \lambda}{9 + 5 \cdot \lambda}\right)$$

En caso de una altura pequeña de caudal vertido el coeficiente de gasto toma su valor mínimo, m= 0,385. En caso que la altura del caudal vertido sea igual a la altura de diseño el coeficiente de gasto toma el máximo valor igual a 0,495. Para efectos de esta evaluación se considera un vertedero que no se encuentra en óptimas condiciones y que no permite alcanzar la altura máxima de diseño, por lo que se considera apropiado un coeficiente de descarga de 0,45. La carga sobre el vertedero en cada alternativa se presenta en el Cuadro 4.8.1.2-10. Los cálculos se presentan en el Anexo 4-12.

**CUADRO 4.8.1.2-10**
**CARGA SOBRE VERTEDERO, CAUDAL DE DISEÑO**

| Alternativas | Q Diseño ($m^3/s$) | Largo "L" del Vertedero (m) | Carga "h" (m) |
|---|---|---|---|
| ALT1 | 856 | 70 | 3,35 |
| ALT2 | 856 | 40 | 4,87 |
| ALT3 | 856 | 40 | 4,87 |
| ALT4 | 985 | 75 | 3,52 |
| ALT5 | 854 | 70 | 3,35 |

Fuente: Elaboración propia

La revancha de las alternativas ALT2 y ALT3 se redondeó a 5 m ya que por su capacidad de verter a lo largo de todo su muro, no presenta problemas en su coronamiento por el oleaje. En el caso de las alternativas ALT1, ALT4 y ALT5 se estiman las revanchas de vertedero, asentamiento (≈ 0,5 m) y oleaje (≈ 1,0 m), en 1,5 m, lo que sumado a la carga hidráulica alcanza una altura de 5 m.

Se verificaron las revanchas para las crecidas de periodo de retorno igual a 10.000 años. La carga sobre el vertedero se indica en el Cuadro 4.8.1.2-11.

**CUADRO 4.8.1.2-11**
**CARGA SOBRE VERTEDERO**

| Alternativas | Carga "h" (m) de verificación |
|---|---|
| ALT1 | 4,63 |
| ALT2 | 6,33* |
| ALT3 | 6,33* |
| ALT4 | 4,85 |

| | |
|---|---|
| ALT5 | 4,63 |

(*)= la carga sobrepasa el vertedero a los 5 m y comienza a verter a lo largo del muro.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se utiliza la curva embalse para obtener el volumen final asociado a la revancha y se calcula el volumen total del embalse. Los diseños simplificados de cada alternativa de ubicación de embalse se presentan en Planos ANALT-PTN-01 al ANALT-PTN-05. En el Cuadro 4.8.1.2-12 se presentan las cotas, altura de muro y la capacidad máxima de las alternativas de embalse propuestas. En el Anexo 4-12 se presentan los cálculos y dimensionamientos simplificados para cada una de las alternativas.

**CUADRO 4.8.1.2-12**

**COTAS Y ALTURA DE MURO PARA CADA ALTERNATIVA**

| Alternativa | Cota Fondo | Cota Vol. Muerto | Cota Vol. Umbral | Cota Coronamiento | Cota Muro | Vol. Coronamiento |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | msnm | msnm | msnm | msnm | m | $hm^3$ |
| ALT1 | 1.938,0 | 1.969,4 | 1.982,0 | 1.987,0 | 49,0 | 20,3 |
| ALT2 | 1.938,0 | 1.966,2 | 1.979,1 | 1.984,1 | 46,1 | 20,8 |
| ALT3 | 1.938,0 | 1.964,7 | 1.977,6 | 1.982,6 | 44,6 | 21,0 |
| ALT4 | 1.722,0 | 1.750,3 | 1.761,6 | 1.766,6 | 44,6 | 17,4 |
| ALT5 | 1.960,0 | 1.987,3 | 2.000,5 | 2.005,5 | 45,5 | 19,9 |

Fuente: Elaboración propia

## 4.8.2. Diseño Simplificado de Obras de Conducción y Distribución

### 4.8.2.1. Caudal de diseño

Los caudales de diseño para realizar los mejoramientos de los canales son los indicados en el Cuadro 4.8.2.1-1. Se consideró como criterio que el caudal mínimo de diseño es de 10 L/s, esto debido a que los caudales estimados de la mayoría de los canales son my pequeños.

**CUADRO 4.8.2.1-1**

**CAUDALES DE DISEÑO PARA MEJORAMIENTO DE CANALES**

| Sector | Nombre Canal | Caudal a transportar (L/s) | Caudal de diseño (L/s) |
|---|---|---|---|
| Alto | Pailca1 | 1,5 | 10,0 |
| | Pailca2 | 2,7 | 10,0 |
| | Cala Cala 1 | 0,8 | 10,0 |
| | Cala Cala 2 | 0,4 | 10,0 |
| | Cala Cala 3 | 0,7 | 10,0 |
| | Ariquilda 1 | 2,8 | 10,0 |
| | Ariquilda 2 | 2,8 | 10,0 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Ariquilda 3 | 3,6 | 10,0 |
| | Ariquilda 4 | 0,5 | 10,0 |
| Curaña | Vegas Curaña | 18,7 | 18,7 |
| | Curaña | 142,7 | 142,7 |
| | Huara Nuevo | 142,7 | 142,7 |

Fuente: Elaboración propia

En definitiva, todos los canales del sector alto se prediseñan para un caudal de 10 L/s mientras que los que captan agua en el sector de Curaña se prediseñan según los caudales estimados en el acápite 4.7.2.3.

## 4.8.2.2. Criterios de Diseño para Canales Abiertos

Para el prediseño simplificado de las obras de conducción y distribución en canales abiertos se han considerado los siguientes aspectos:

- **Diseño Hidráulico de los Canales**

A continuación se indican los criterios para abordar los distintos aspectos geométricos e hidráulico del diseño de los canales: tales como: pendiente longitudinal, velocidades admisibles, napa freática alta, geometría de la sección transversal, rugosidad, revanchas, estabilidad del régimen de escurrimiento, cambios de sección, pérdidas de carga, cálculo de ejes hidráulicos, etc.

Para el diseño hidráulico de las obras se usarán recomendaciones y métodos de cálculo universalmente aceptados, citados y descritos en la literatura especializada. Entre los textos que serán usados es posible mencionar:

- Hidráulica. Francisco Javier Domínguez.
- Open Channel Flow. V. T. Chow.
- Design of Small Canals Structures. U. S. Bureau of Reclamation.
- Design of Small Dams. U.S. Bureau of Reclamation

- **Ecuaciones Básicas**

Para el cálculo y dimensionamiento de estas obras se utilizará la fórmula de Manning, cuya expresión es la siguiente:

$$Q = \frac{\sqrt{J}}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot A$$

Donde se tiene:

$$R = \frac{A}{P}$$

Q : Caudal ($m^3/s$)

J : Pendiente de la línea de energía

n : Coeficiente de rugosidad de Manning

A : Sección mojada ($m^2$)

P : Perímetro mojado (m)

R : Radio hidráulico (m)

h : Altura de escurrimiento (m)

Sobre la base de estas ecuaciones se puede calcular la altura normal de escurrimiento ($h_n$), siendo aquella que verifica la ecuación de Manning, para valores dados del caudal, la pendiente de fondo del canal, el coeficiente de rugosidad y su geometría.
La mayoría de canales se diseñaran de tal forma que el escurrimiento sea subcrítico es decir con $h_n > h_c$; siempre que sea posible se deben evitar los escurrimientos del tipo supercríticos o de torrente con $h_n < h_c$. Por lo anterior, en la determinación de las dimensiones y de las capacidades de este tipo de cauces es conveniente calcular en cada caso la altura crítica ($h_c$), para determinar el tipo de escurrimiento, de río ($h_n > h_c$) o de torrente ($h_n < h_c$). La altura crítica se determina resolviendo para h la siguiente ecuación:

$$Q = A \cdot \sqrt{\frac{g \cdot A}{l}}$$

En esta última expresión, "$l$" es el ancho superficial de la sección mojada y "g" la aceleración de gravedad.

- **Pendiente Longitudinal del Canal**

La pendiente longitudinal del fondo de un canal está gobernada generalmente por la topografía y la carga de energía requerida para el flujo de agua. Como este es un proyecto de irrigación de agua se requiere un nivel alto en el punto de entrega, de modo que una pequeña pendiente es deseable con el objeto de mantener a un mínimo la pérdida de elevación. Se utilizará una pendiente tal que el flujo sea subcrítico, siempre que el terreno lo permita y el gasto de las obras no sea excesivo.

- **Velocidad Admisible y Estabilidad del Escurrimiento**

De acuerdo a las recomendaciones de V.T. Chow, para canales no revestidos, la velocidad admisible varía desde un máximo de 6 pies/s, (1,83 m/s) hasta un mínimo de 1,5 pies/s (0,46 m/s).según el tipo de material del canal. En lo que respecta a la velocidad mínima, que permita evitar la sedimentación y la aparición de vegetación y algas, no es fácil recomendar un valor; no obstante lo anterior, se recomienda que las velocidades mínimas no bajen de los 0,60 a 0,70 m/s, siempre que las pendientes disponibles para el trazado del canal lo permitan.
En lo relativo a los canales revestidos el problema es diferente y para el caso de aguas con sedimento, la velocidad máxima recomendable está en el entorno de los 4.5 m/s; por otra parte, las velocidades mínimas deberían ser del mismo orden que en el caso anterior, para evitar la depositación de sedimentos y la aparición de vegetación en las juntas del revestimiento.

- **Altura Crítica**

Para garantizar que el flujo en un canal sea estable, es necesario garantizar que este se encuentre suficientemente alejado de la crisis, de tal manera que no se produzcan ondulaciones que alteren el correcto funcionamiento del canal al posibilitar la aparición de resaltos de onda. De acuerdo con lo anterior se ha considerado recomendar diseñar los canales imponiendo que el Bernoulli normal sea a lo menos un 10% superior al Bernoulli crítico, con altura de normal de río en el canal; esto equivale a lo siguiente:

$$\frac{B_n}{B_c} \geq 1.10 \; ; B = h + \frac{v^2}{2 \cdot g} \; ; Bernoulli\ con\ respecto\ al\ fondo.$$

En estas expresiones se tiene:

$B_n$: Bernoulli normal (m)

$B_c$: Bernoulli crítico (m)

h: Altura de escurrimiento (m)

v: Velocidad (m/s)

- **Geometría de la Sección Transversal**

Para definir la geometría de la sección transversal de los canales, se considerarán los análisis técnicos de terreno e hidráulicos y también los aspectos económicos (material del terreno, caudal, tipos de revestimientos, relación ancho de base-altura, etc.).

- **Rugosidad**

Para la realización de los cálculos es necesario estimar los coeficientes de rugosidad de Manning para los diferentes tipos de revestimientos que se presentan habitualmente, los que se analizan a continuación:

- Revestimientos de hormigón: En el caso de que las paredes del canal sean revestidas con hormigón, de acuerdo con lo indicado en el texto "Hidráulica de los canales abiertos" de V.T. Chow, para este tipo de canales el valor de ***n*** varía entre 0,011 para un canal bien terminado y 0,025 para el hormigón proyectado. En este caso se utilizó un n de 0,018.

- Revestimientos de albañilería de piedra: Si el revestimiento es de albañilería de piedra, el valor de ***n*** según lo indicado en el texto "Hidráulica de los canales abiertos" de V.T. Chow, varía entre 0,017 y 0,030, con un valor medio de 0,025, lo que hace aconsejable considerar este último valor para verificación de la capacidad de un cauce revestido con este material.

- Tubos lisos: Para alcantarillas o tubos se usan tubos lisos de 0,009 a 0,012 según Catálogos TEHMCO. (Anexo 4-3). En este caso se utilizó un n de 0,011.

- Tubos corrugados: Para las alcantarillas de cruce y en obras de arte (en caminos por ejemplo), se usan tubos corrugados; según el texto de V.T.

Chow, valor del coeficiente oscila entre 0,021 y 0,030, con valor típico de 0,024.

- Revestimientos asfálticos: Para revestimientos asfálticos, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, Sika Chile, el valor de ***n*** es igual al del hormigón. En este caso se recomienda un valor igual a 0,018. Según V.T. Chow, el valor para asfalto rugoso es de 0,016, valor levemente inferior al considerado en este caso.

En aquellos casos que se trate de coeficientes de rugosidad compuestos para los diferentes tipos de materiales que formen la sección de los canales, se propone a continuación la metodología a emplear para la determinación de este coeficiente:
Para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning equivalente, en donde las paredes y fondo presentan distintos materiales o rugosidades, se utilizará los supuestos de Horton y Einstein, que derivan en la aplicación de la siguiente fórmula:

$$n = \left[\frac{\sum_1^3 (P_i \cdot {n_i}^{1,5})}{P}\right]^{2/3}$$

En que:
n = coeficiente de Manning equivalente
P = perímetro mojado total
$P_1$ y $n_1$ = perímetro mojado y coeficiente de Manning del talud izquierdo
$P_2$ y $n_2$ = perímetro mojado y coeficiente de Manning del radier
$P_3$ y $n_3$ = perímetro mojado y coeficiente de Manning del talud derecho

- **Revanchas**

Para la determinación de las revanchas de los canales y para la verificación de la capacidad de obras existentes se recomienda considerar revanchas iguales al 15% de la altura de escurrimiento en canales, con un máximo de 50 cm y un mínimo de 20 cm., para escurrimientos de río De esta manera para escurrimiento normal se tiene:

$$H_{canal} = 1{,}15 \cdot h_n \; ; \; 0{,}2 \leq H_{canal} - h_n \leq 0{,}50$$

Para el caso de escurrimientos torrenciales no existen recomendaciones relativas a este tema.

- **Pérdidas de Carga**

Las pérdidas de carga por frotamiento en canales se determinan usando la Fórmula de Manning con los coeficientes de rugosidad definidos anteriormente.
Las pérdidas singulares, que básicamente son las transiciones, se calcularán de acuerdo con las recomendaciones del Open-Channel Hydraulic. V. T Chow y del Curso de Diseño de Obras Hidráulicas de H. Mery.

- **Revestimiento del Canal**

Se realizará un análisis detallado de los diversos tipos de revestimientos susceptibles de ser usados en los diferentes sectores del trazado, tales como, hormigón, albañilería de piedras, shotcrete, membranas asfálticas o plásticas y gaviones.

- **Escurrimiento en Canales Cubiertos sin presión**

En general se cumplen la mayoría de los criterios salvo las consideraciones sobre revanchas. Otros que se deben cumplir son los siguientes:

- Para definir el tamaño del ducto se cumple con la relación hn/D=0,7, criterio usualmente utilizado para definir las dimensiones en acueductos. (hn altura normal de escurrimiento y D altura de la tubería p cajón)
- Se debe incluir una cámara de inspección en cada codo del trazado
- La conducción debe tener un diámetro mayor o igual al tramo anterior.

## 4.8.2.3. Criterios de Diseño Tuberías en Presión.

Para el prediseño simplificado de las obras de conducción y distribución en tuberías en presión se han considerado los siguientes aspectos:

- **Presiones de trabajo**

Para el diseño del sistema de tuberías se utilizará la ecuación de la energía, la que aplicada entre dos puntos de una tubería tiene la siguiente expresión:

$$\Delta E = E_A - E_B = \Delta h_{friccional\ a-b} + \Delta h_{\ singular\ a-b} = \Delta_{a-b}$$

$$Z_A + \frac{V^2{}_A}{2 \cdot g} + \frac{P_A}{\gamma} = Z_B + \frac{V^2{}_B}{2 \cdot g} + \frac{P_B}{\gamma} + \ \Delta_{a-b}$$

En estas ecuaciones se tiene:

| | |
|---|---|
| $E_{\mathrm{i}}$ | Energía en la sección "i" de la tubería (m) |
| $Z_i$ | Cota del punto medio de la tubería en sección "i" (m) |
| $V_i$ | Velocidad en la sección "i" de la tubería (m/s) |
| $\frac{P_A}{\gamma}$ | Altura de presión en la sección "i" de la tubería (m) |
| $\Delta h_{fi}$ | Pérdida de carga fraccional en el tramo analizado de la tubería (m) |
| $\Delta h_{\ si}$ | Pérdida de carga singular en el tramo analizado de la tubería (m) |
| $\Delta_{i-\mathrm{j}}$ | Pérdida de carga total en el tramo analizado de la tubería (m) |

- **Velocidad del Escurrimiento**

Se ha determinado que la velocidad máxima que debe tener el escurrimiento en la tubería dependerá de cada material del cual esta esté construida, estas velocidades las recomienda directamente el fabricante y que generalmente está entre los rangos de 3 a 4 m/s. Para el diseño se ha verificado que la velocidad del flujo no sobrepase los 3 m/s.

- **Rugosidad Manning**

El coeficiente de rugosidad depende de cada material de la tubería, tal como se muestra en el Cuadro 4.8.2.3-1.

**CUADRO 4.8.2.3-1**
**COEFICIENTE DE MANNING**

| Material | n |
|---|---|
| HDPE | 0,009 |
| PRFV | 0,009 |
| ACERO | 0,011 |

**Fuente:** Catálogos TEHMCO para tuberías de HDPE, Catálogo AMITECH para tuberías de PRFV, ambos en Anexo 4-14

- **Pérdidas Friccionales**

Las pérdidas friccionales se deben al roce que presenta el flujo con el material de la tubería especificada. Con el fin de calcular estas pérdidas, se utilizó la fórmula de Darcy-Weisbach y la expresión de Hazen-Williams. Primero el método de Darcy-Weisbach que establece lo siguiente:

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

$h_f$ : Pérdida de carga regular (m)
l : Factor de fricción de Darcy-Weisbach.
v : Velocidad del Flujo (m/s)
D : Diámetro de la tubería (m)
L : Largo de tubería (m)

El factor de fricción de Darcy- Weisbach se obtiene del ábaco de Moody, el que relaciona el número de Reynolds con la rugosidad relativa de la tubería. Estos términos son detallados a continuación:

Número de Reynolds:

$$\Re e = \frac{\rho \cdot D \cdot v_s}{\mu} = \frac{D \cdot v_s}{\nu}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del fluido (kg/m$^3$)
$D$ : Diámetro de tubería (m)
$v_s$ : Velocidad del flujo (m/s)
$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido (kg/m/s)
$\nu$ : Viscosidad cinemática del fluido (m$^2$/s)

Rugosidad Relativa:

$$e = \varepsilon / D$$

Donde:

e : rugosidad relativa
ε : rugosidad (mm)
D : diámetro de tubería (m)

El segundo método utilizado es el de Hazen-Williams, cuya expresión es la siguiente:

$$Q = 0{,}2785 \cdot C \cdot D_i^{2{,}63} \cdot S^{0{,}53}$$

Donde:

Q: caudal (m/s)
C: coeficiente de la rugosidad de la tubería (sin dimensión)
Di: diámetro interior del tubo (m)
S: pérdida de carga por unidad de longitud (m/m)

El coeficiente C tiene el siguiente valor, según el material de la tubería, según se indica en el Cuadro 4.8.2.3-2

**CUADRO 4.8.2.3-2**
**COEFICIENTE DE CELERIDAD**

| Material | C |
|---|---|
| HDPE | 150 |
| PRFV | 150 |
| ACERO | 130 |

Fuente: Catálogos TEHMCO para tuberías de HDPE, Catálogo AMITECH para tuberías de PRFV, ambos en Anexo 4-14.

Luego de los resultados de ambas pérdidas se ha adoptado el menor de ellos, para obtener la menor perdida de presión por fricción. Pues este caso considera que hay mayor presión en las tuberías siendo más conservador.

- **Pérdidas Singulares**

Corresponde a las pérdidas de carga producidas por singularidades existentes en las tuberías, tales como: codos, curvas, ensanches, angostamientos, válvulas, etc. la expresión general para calcular estas pérdidas de carga es:

$$\Delta_s = \Delta h_s = K \cdot \frac{U^2}{2 \cdot g}$$

Donde:
K: es una constante que depende del tipo de singularidad.
U: es la velocidad del flujo (m/s)
g: es la aceleración de gravedad ($m/s^2$)
Como el trazado de la tubería es aún preliminar se despreciaron las pérdidas singulares. El cálculo completo está disponible en el Anexo 4-15.

## 4.8.2.4. Cálculos y Dimensiones de las Obras Proyectadas

En el Cuadro 4.8.2.4-1 se resumen las obras proyectadas y sus dimensiones. Para ello se cumplieron con los criterios indicados anteriormente. Los cálculos y resultados se presentan en el Anexo 4-15. Todas las conducciones se proyectaron para un escurrimiento libre.

## CUADRO 4.8.2.4-1
## DIMENSIONES OBRAS NUEVAS Y DE MEJORAMIENTO

| Sector | Nombre Canal | Caudal a transportar (L/s) | Caudal de diseño (L/s) | Largo (L/s) | Mejoramiento (L/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| Alto | Pailca1 | 1,5 | 10,0 | 216 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Pailca2 | 2,7 | 10,0 | 346 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Cala Cala 1 | 0,8 | 10,0 | 633 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Cala Cala 2 | 0,4 | 10,0 | 322 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Cala Cala 3 | 0,7 | 10,0 | 345 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Ariquilda 1 | 2,8 | 10,0 | 265 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Ariquilda 2 | 2,8 | 10,0 | 422 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Ariquilda 3 | 3,6 | 10,0 | 778 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Ariquilda 4 | 0,5 | 10,0 | 384 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| Curaña | Vegas Curaña | 18,7 | 18,7 | 2.000 | Desarrollar un canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,3 m y b= 0,2 m |
| | Curaña | 142,7 | 142,7 | 440 | Revestir el Canal en hormigón en una sección rectangular de dimensiones h=0,45 m y b= 0,3 m |
| | Conducción CU-C.U. | 142,7 | 142,7 | 18.239 | Desarrollar una tubería de Diámetro D= 400 mm en HDPE |

Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones de los canales consideran la factibilidad constructiva de este, ya que para magnitudes menores aumenta la dificultad de su construcción.

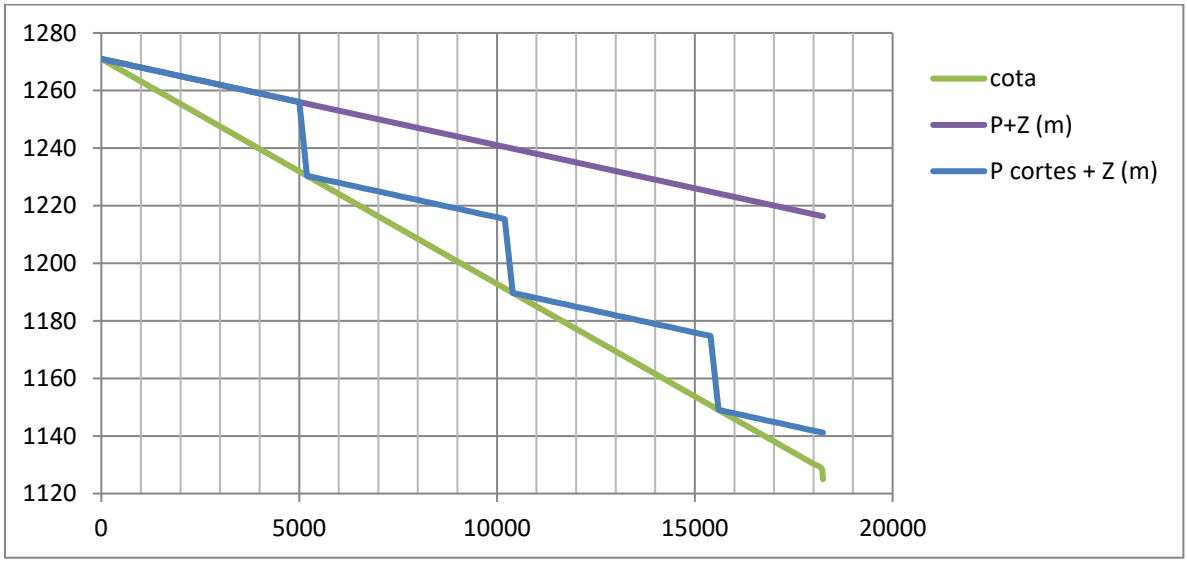
En el caso de la conducción CU-C.U., se realizó el diseño en presión bajo dos escenarios:

- Con cámaras corta presión, Tubería HDPE diámetro de 400 mm y PN2,5

- Sin cámaras corta presión, Tubería HDPE diámetro de 400 mm y PN10

En la Figura 4.8.2.4-1 se presentan las presiones dentro de la conducción para los casos analizados. En el primer escenario se consideran 3 cámaras en donde la presión es regulada garantizando el uso de tuberías de PN2,5 (PN se refiere a la presión nominal que resiste la tubería.) es decir, la presión no supera los 25 (mca). En el segundo escenario se debe considerar en el diseño tuberías de PN10, ya que la presión 91,3 mca.

**FIGURA 4.8.2.4-1**
**GRÁFICO DE PRESIÓN EN TUBERÍA**




Fuente: Elaboración Propia

Si se quisiera aprovechar la carga hidráulica para la generación de energía eléctrica se privilegiaría el diseño de la conducción en presión sin cortes. En esta situación la potencia generada en el mes de mayor caudal sería de 111 Kw, lo que permitiría utilizar un número reducido de aparatos eléctricos.

## *4.9. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE Los MEJORes EMPLAZAMIENTOs*

### 4.9.1. Generalidades

Aún reconociendo que los costos totales son el principal índice considerado en la elección del lugar donde posiblemente se emplazará el embalse proyectado, existe una serie de factores complementarios, (algunos de los cuales pueden quedar reflejados en los costos), que tienen que ver con otras características que ofrecen los sitios, apreciables solamente en forma cualitativa en primera instancia, todo lo cual se describe en el presente capítulo.
Con el fin de cuantificar las ventajas y desventajas de los sitios de embalse propuestos para el desarrollo del proyecto, se realizó un análisis multicriterio a los aspectos técnicos, ambientales y estratégicos, necesarios para decidir dónde diseñar y proyectar las obras de los tres mejores sitios de emplazamiento de muro. Cada aspecto se cuantificó en cada sitio

alternativo, asignándole un número entre 1 y 5 donde 1 representa la alternativa mejor o mas ventajosa y 5 la peor o menos ventajosa.
Los aspectos considerados en el análisis multicriterio, que se enlistan a continuación, se evaluaron bajo un volumen de embalse que garantizara un 85% de seguridad de riego para un área estimada de 400 ha:

- **Tipo de Presa:** de acuerdo a las características geológico-geotécnicas presentes en el sitio alternativo, los materiales presentes en el sector y el costo del muro es el tipo de presa que se propone. Es ventajoso un sitio con un apoyo mecánico adecuado sin necesidad de grandes remociones de material, con empréstitos cercanos y suficientes y un muro lo más pequeño y voluminoso posible.

- **Relación Agua/Muro:** Es una relación adimensional obtenida entre el volumen de agua embalsada y el volumen del muro. Mientras mayor sea la relación mejor es la alternativa ya que representa un muro pequeño o una gran tasa de inundación en la cual se puede acumular agua.

- **Características Geológicas y geotécnicas:** Importa la morfología de la garganta, y el basamento donde se apoya el muro. Mientras más estrecha la garganta y mejor la calidad del macizo rocoso o los materiales de apoyo mejores características geológico-geotécnicas tendrá el sitio alternativo.

- **Características productivas zona a inundar:** Interesa en este caso que la zona de inundación sea lo menos productiva posible, de manera de reducir los costos de expropiación y, además, no afectar a los agricultores obligándolos a traslados normalmente indeseados.

- **Ubicación con respecto a la zona de riego:** interesa que el embalse pueda abastecer, en lo posible, a la totalidad de los beneficiarios en forma directa.

- **Ubicación con respecto a los recursos de agua:** interesa que la presa no quede ubicada tan arriba, como para que la cuenca aportante sea muy pequeña y no se pueda regular una parte importante del recurso, o no haya agua suficiente para regular.

- **Evaporación:** toma importancia en zonas con alta radiación solar y fuertes vientos debido a que genera altas tasas de evaporación en los embalses. Interesa que el espejo de agua sea el menor posible de manera de disminuir las pérdidas.

- **Cantidad y características de las interferencias:** Todo lo que sea caminos públicos, principales o secundarios, líneas eléctricas, bosques nativos, líneas férreas, obras civiles de diverso tipo, etc., significan un elevado costo de reponerlos en otro lugar, y muchas veces problemas con los servicios correspondientes o dueño de la interferencia, por lo que se trata que las interferencias sean las mínimas posibles.

- **Impactos ambientales asociados:** este criterio busca dar una mayor preferencia a aquellas alternativas que impliquen un menor impacto ambiental, para lo cual se evaluó en el terreno aquellos atributos de cada sitio que permitieran jerarquizarlos respecto de su valor ambiental.

- **Accesibilidad:** naturalmente, la accesibilidad a las zonas de las faenas usualmente juega un rol muy importante, ya que tener que construir nuevos caminos de acceso constituye costos importantes para el proyecto.

- **Tamaño del proyecto:** se debe asegurar el almacenamiento del agua requerida o bien, que la obra tenga la capacidad de soportar las solicitaciones de la carga hidráulica. Si no cumple dichas características no se puede realizar la obra.

- **Costos de expropiaciones:** interés la cantidad y de los terrenos que deben ser expropiados por efecto de la construcción del embalse, claramente es mejor la alternativa que posee el menor costo por efecto de expropiaciones.

- **Facilidades para el diseño de las obras de arte**: obras como el vertedero y túnel by pass, pueden ser complejas y costosas según el tipo de diseño que se pueda efectuar.

- **Facilidades constructivas:** Este tema tiene que ver con las facilidades con respecto a la ubicación desde el punto de vista del traslado de personal y material, residencia de los obreros, espacios para las faenas, velocidad de avance de las faenas, distancia a la ciudad para efectos de repuestos y mantenimiento de la maquinaria y equipos, etc.

- **Altura del muro:** interesa tanto por los costos como por la definición de los caudales de diseños de las obras de evacuación y los análisis que deben ser desarrollado en el caso de muros de gran altura.

- **Situación legal:** interesa la situación de los derechos de agua en la cuenca ya que puede restringir la cantidad de agua posible de embalsar o descartar un sitio alternativo por la falta de derechos posibles de embalsar que hagan viable el proyecto.

- **Generación hidroeléctrica:** Interesa evaluar la posibilidad de aprovechar la carga neta que produce el muro del embalse y que el proyecto energético sea rentable.
- **Regulación de Crecidas:** Interesa la combinación de ubicación y capacidad de embalse que permita captar y regular la mayor cantidad de agua, evitando daños de infraestructura y otros hacia aguas debajo de la obra.

- **Mejoramientos y nuevos trazados de Canales:** interesa que la infraestructura existente sea suficiente para satisfacer las necesidades de la situación futura con embalse, así se economiza en el costo de mejoramiento y trazado de nuevos canales.

## 4.9.2. Antecedentes Considerados y su Evaluación Cualitativa

### 4.9.2.1. Tipo de Presa

Para cada sitio se tienen los siguientes antecedentes y recomendaciones:

- El sitio de presa ALT1 existe abundante material tipo grava arenosa que se puede utilizar para construir una presa CFGD o RCC. Por su ancho promedio cercano a los 240 m se recomienda a primeras un muro CFGD.

- Análogamente, en el sitio ALT2 se estima que es factible construir una presa CFGD o RCC. En este caso al existir una garganta mas angosta que en la ALT1 se recomienda un vertedero frontal para lo cual se utiliza una presa tipo RCC. El ancho promedio del muro es de 130 m aproximadamente.

- El sitio de presa ALT3 se estima que es factible construir una presa CFGD o RCC. La parte superior de la ladera izquierda (sur) se observa muy agrietada e inestable, por lo cual se debe hacer un tratamiento especial para evitar derrumbes. Se estima una presa RCC por su garganta angosta de ancho medio cercano a los 125 m.

- El sitio de presa ALT4 corresponde a la antigua ubicación de embalse propuesta por el MOP. Este sector de la caja del río se aprecia de muy buena calidad para ser utilizado como yacimiento de grava por lo que es factible la construcción de un muro tipo CFGD. El ancho medio es de 230 m.

- El sitio de presa ALT5 posee un ancho medio de 400 m, con un largo de coronamiento cercano a los 715 m. Estas características hacen poco factible la instalación de una presa tipo RCC, por tanto se considera una presa tipo CFGD ya que hay material suficiente para su construcción.

Dadas las características y los antecedentes indicados anteriormente se analizó, para la elección de la mejor alternativa de emplazamiento, una presa tipo CFGD en los sitios ALT1, ALT4 y ALT5 mientras que en los sitios ALT2 y ALT3 una presa tipo RCC La posibilidad de construir una presa tipo RCC que permite el vertido por sobre su muro y que sus obras de desvío de cauce pasen por bajo su muro hacen más atractiva las alternativas ALT 2 y ALT3.

### 4.9.2.2. Relación Agua/Muro

Esta relación constituye uno de los principales índices de la conveniencia del embalse. Para el presente estudio, se consideró un volumen de riego con una seguridad del 85% para el beneficio de 400 ha, con lo cual cada alternativa posee distintos volúmenes de agua y de muro. Se presenta en el Cuadro 4.9.2.2-1 la relación agua/muro para cada alternativa. Se debe tener presente que mientras mayor es la relación mejor es la alternativa.
Cabe destacar que las alternativas proyectadas en presas tipo RCC (ALT2 y ALT3) tienen mejores relaciones Agua/Muro que las presas de tipo CFGD ya que su geometría permite taludes más inclinados, es decir, muros de menor volumen para alturas iguales. En este caso la altura de muro de las alternativas ALT1, ALT2 y ALT3 es prácticamente la misma pero el ancho medio de la ALT1 es mayor, y por ende, sería la de mayor volumen y la de menor

relación agua/muro entre las 3 en el caso que de que todas fueran proyectadas con la misma geometría y materiales de construcción, por lo tanto no variaría el orden en la que se presentan en este acápite.
De acuerdo a lo anteriormente indicado, el orden de mayor a menor entre las alternativas es ALT3, ALT2, ALT1, ALT4 y ALT5. La diferencia radica principalmente en el ancho de los muros.

**CUADRO 4.9.2.2-1**
**RELACIÓN AGUA/MURO**

| Alternativa | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT4 | ALT5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Relación Agua/Muro | 20,1 | 115,3 | 116,3 | 17,5 | 10,1 |

Fuente: Elaboración Propia

## 4.9.2.3. Características Geológicas y Geotécnicas de la Angostura

### a) Características Geológicas

Atendidos los objetivos y alcances directos del estudio, orientado a la selección de un sitio para el emplazamiento de una presa de riego, el análisis de la información referencial disponible, complementado con el conocimiento obtenido durante el breve reconocimiento directo de los terrenos comprometidos en los sitios alternativos disponibles, surge el convencimiento de que la ubicación correspondiente a la alternativa ALT1 sería la más apropiada o favorable. En este sitio, comparativamente, no existirían limitaciones de importancia que dificulten la posterior realización de un proyecto de prefactibilidad. Conforme a ello, no se visualiza la necesidad de realizar ajustes o relocalizaciones mayores de obras a terrenos alternativos disponibles. La decisión comprometida en la selección de un sitio final, estará supeditada a los resultados de una posterior campaña de prospecciones mediante sondajes.
Si bien, en términos comparativos respecto de la ALT1 seleccionada, la conformación morfológica de las secciones transversales involucradas en los emplazamientos de las presas correspondientes a las ALT2 y ALT3, presentarían mayores simetrías y mejores relaciones volumétricas presa / almacenamiento, sus principales limitaciones se asociarían al compromiso en sus respectivos apoyos de importantes coberturas de suelos sueltos e inestables, con bajas capacidades de carga, sobreyacentes a basamento rocoso inhomogéneo (ignimbritas / conglomerados), superficialmente fracturado, meteorizado y desagregable, con dudoso carácter y comportamiento geotécnico; conforme a ello, la preparación de los apoyos o estribos de las alternativas 2 y 3, demandarían voluminosas remociones destinadas a la eliminación de los señalados materiales y exposición en profundidad de basamento geomecánicamente competente; a su vez, la consiguiente dudosa estabilidad de los taludes de los cortes periféricos resultantes, demandarían la aplicación de complejas y costosas técnicas de estabilización temporal o permanente, a base de la instalación sistemática o puntual de pernos de anclaje y mallas metálicas afianzadas al basamento rocoso competente, con o sin capas de hormigón proyectado.

Por otro lado, en la ALT1, el mayor ancho de la llanura de inundación, supondría la presencia de basamento rocoso geotécnicamente competente e impermeable a profundidades bastante menores a las esperadas para las secciones basales de las ALT2 y ALT3, cuyas configuraciones responderían a erosión fluvial de gran energía; este carácter favorecería los procedimientos de tratamiento de sello e impermeabilización de las fundaciones destinadas a garantizar la estanqueidad de la presa de la ALT1.

Los antecedentes obtenidos durante la realización del presente estudio, permiten establecer que las mayores incógnitas o incertidumbres tendrían relación con el confiable conocimiento geológico - estructural y comportamiento geotécnico e hidrogeológico en obras de los materiales (suelos y rocas) que participan de los terrenos involucrados en la ALT1, seleccionada, incluyendo sus respectivas características litológicas, espesores, continuidad (vertical y profundidad); la obtención de la información demandada, involucraría la realización de una posterior campaña de sondajes, eventualmente complementada con la ejecución de algunos perfiles geosísmicos

En su momento, la realización de pruebas de permeabilidad in situ, a base de ensayos Lefranc (suelos) y Lugeon (basamento rocoso), debería ir acompañada de determinaciones granulométricas, constantes hídricas, clasificación de suelos y determinación de algunos parámetros geotécnicos en laboratorio (resistencia a la compresión simple y corte, cohesión, ángulos de fricción interna), a partir de muestras seleccionadas (rocas y suelos).

Las señaladas actividades, resultarán en la obtención de parámetros geomecánicos e hidrogeológicos, a ser utilizados tanto en una posterior necesaria caracterización y zonificación geomecánica de los terrenos locales (suelos y rocas) y determinación de eventuales tratamientos de las fundaciones del tipo de presa final seleccionada y sus correspondientes apoyos o estribos, complementados con la identificación tanto de los eventuales tratamientos de sello o impermeabilización, como el diseño de los taludes de los cortes finales de las excavaciones; ello, sin desatender la prospección de materiales de empréstito e identificación de eventuales demandas de refuerzos estructurales, para los taludes de cortes comprometidos en las excavaciones destinadas a albergar obras anexas: vertedero y desviación.

En ambientes áridos, como el objeto de estudio, donde los caudales de crecidas extremas, vinculados al "invierno boliviano", incorporan importantes concentraciones de sólidos de arrastre y/o suspensión, las presas destinadas al almacenamiento de aguas para riego, suelen demandar la incorporación de elementos de desagües de fondo, destinados a su efectiva eliminación y refuerzo natural de capacidades de almacenamiento.

Finalmente durante el breve reconocimiento directo de los terrenos objeto de análisis, se visitó el eventual sitio alternativo ubicado en la quebrada de Aroma denominado alternativa 5, *ALT5*, 1.100 m aguas arriba de la ALT1; se trataba de un singular y atractivo "estrechamiento" visualizado en imágenes satelitales GOOGLE, (fuera del alcance de **Plano GEO-PTN-01)**, cuya configuración morfológica lo transformaba en un potencial sitio alternativo para el PCEP.

Finalmente, el sitio ALT5, a pesar de presentar rasgos morfológicos del sector para albergar una presa, el adverso carácter y comportamiento geotécnico e hidrogeológico de materiales de ambos apoyos o estribos, sustentaron su descarte definitivo.

**b) Características Geotécnicas**


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

De la visita realizada a la zona del proyecto para observar los potenciales sitios de emplazamiento de la presa, se concluye lo siguiente:

- De los sitios visitados, inicialmente se estima que para la construcción de una presa, se presentan más favorables las alternativas ALT1 y ALT2 ya que la alternativa ALT3 presenta riesgos de inestabilidad de laderas y gran cantidad de bloques sueltos en el lecho del río que sería necesario remover. La alternativa ALT4 se descarta por razones arqueológicas y la ALT5 por razones geológicas.

- Entre las alternativas ALT1 y ALT2 no existen gran diferencia en cuanto a aspectos de calidad de laderas, del lecho, material de empréstito, riesgos y ubicación de obras anexas, por lo que la elección entre ambas quedará decidida por la presa de menor costo que resulte. En este caso como la angostura de menor longitud es la ALT2, estimamos que esta alternativa será la de menor costo.

- Ninguno de los sitios ALT1, ALT2 y ALT3 provoca interferencias con áreas pobladas ni con áreas de cultivos. Es probable que se requiera reubicar el camino público en la zona media del embalse.

- En relación con el vertedero de crecidas y el túnel de desviación para la construcción de la presa, en lo que dice relación con la calidad del suelo y/o roca y la longitud del canal de evacuación, no se aprecia que alguno de los sitios ALT1 y ALT2 sea claramente más favorable, pero si mejores que el sitio ALT3.

- Finalmente, en lo relativo a calidad y disponibilidad de material para construir la presa y para hormigones, no existe claramente una preferencia en ninguno de los sitios ALT1, ALT2 y ALT3, ya que en ellos se podrá obtener material gravo arenoso desde el lecho del río. Existe una mínima ventaja de la alternativa ALT1 por encontrarse más cerca de los yacimientos.

- De acuerdo con lo expuesto, se estima que la alternativa de sitio de presa más favorable es la ALT2, seguida por la ALT1 y luego la ALT3.

- Para fines de estimar volúmenes de presa, se recomienda lo siguiente para una presa de altura aproximada 40 m:

Presas CFGD:

  - Talud de aguas abajo y de aguas arriba : H:V=1.5:1
  - Muro parapeto de 3 m de altura.
  - Ancho mínimo de coronamiento 7 m

- Presa de hormigón rodillado (RCC):

  - Talud de aguas arriba vertical
  - Talud de aguas abajo H:V=1:1
  - Ancho de coronamiento mínimo: 6 m.

## 4.9.2.4. Características Productivas de la Zona a Inundar

En el sector de Misticsa se encuentra una antigua área de riego abandonada que sería inundada por las alternativas ALT1, ALT2, ALT3 y ALT5. El sitio ALT4 afectaría el sector de Cala Cala que presenta en la actualidad algunas terrazas donde se desarrollaron cultivos. Estas terrazas se encuentran destruidas en gran parte por el paso del agua de la quebrada.
Respecto a comunidades presentes en la zona, el único vestigio de asentamientos se ubica en el sector de Cala Cala los que serían afectados por la construcción del sitio ALT4.
En este caso las alternativas ubicadas en el sector de Misticsa tienen una pequeña ventaja sobre la ALT4.

## 4.9.2.5. Ubicación con Respecto a la Zona de Riego

En este caso, interesa que el embalse pueda abastecer, en lo posible, a la totalidad de los beneficiarios en forma directa. Ello no es siempre posible y normalmente quedan beneficiarios ubicados aguas arriba de la presa, pero se trata que este riego indirecto sea el menor posible, y que la "liberación" de tributar derechos les permita alcanzar similar seguridad de riego que los abastecidos directamente por el embalse.
En este caso, sólo la ALT4 quedaría aguas abajo de los sectores Pailca y Cala Cala por lo tanto presenta una desventaja en comparación al resto.

## 4.9.2.6. Ubicación con Respecto a los Recursos de Agua de la Cuenca

Con respecto a este tema, interesa que la presa no quede ubicada tan arriba, como para que la cuenca aportante sea muy pequeña y no se pueda regular una parte importante del recurso, o no haya agua suficiente para regular.
En estas condiciones, el sitio ALT4 aventaja a los otros, ya que al ubicarse aguas abajo del resto de los sitios posee una mayor área aportante, mayor posibilidad de regular crecidas y se encuentra más cerca de la zona de riego de Curaña, por lo que tendría una menor pérdida por conceptos de transporte.

## 4.9.2.7. Evaporación

La zona Altiplánica de la región de Tarapacá se caracteriza por estar expuesta a altos niveles de radiación y viento, lo que está directamente relacionado con altas tasas de evaporación.
En el sector de Misticsa no se cuenta con registros de evaporación pero si se dispone de los datos medidos en la cuenca vecina en la zona de Camiña, localidad ubicada en la zona altiplánica al igual que el sector de embalses. Para realizar una comparación de cuál es la alternativa que tiene mayores pérdidas por el efecto de la evaporación se estima el área de inundación asociada a cada sitio, la cual se presenta en el Cuadro 4.9.2.7-1.

**CUADRO 4.9.2.7-1**
**ÁREA DE INUNDACIÓN (ha)**

| Alternativa | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT4 | ALT5 |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Área de Inundación | 117,7 | 130,3 | 127,8 | 92,8 | 102,6 |

Fuente: Elaboración Propia

El sitio ALT4 supera al resto de las alternativas ya que la superficie inundada es la menor y por ende su evaporación también lo es. El sitio 2 tendría la de mayor pérdida por evaporación.

## 4.9.2.8. Cantidad y Características de las Interferencias

Todo lo que sea caminos públicos, principales o secundarios, líneas eléctricas, bosques nativos, líneas férreas, obras civiles de diverso tipo, etc., significan un elevado costo de reponerlos en otro lugar, y muchas veces problemas con los servicios correspondientes o dueño de la interferencia, por lo que se trata que las interferencias sean las mínimas posibles. En este caso, todas las alternativas de sitios de embalse presentan una interferencia con la Ruta A-459, tal como se indica en el Acápite 4.6. La diferencia radica en el largo de dichas interferencia, los sitios ALT1, ALT2 y ALT3 presentan una variante de camino de 1925 m, el sitio ALT4 una variante de 2.517 m y el sitio ALT5 una variante de 1.971 m. El impacto es menor en los primeros 3 sitios, mientras que el mayor impacto es en sitio ALT4.

## 4.9.2.9. Impactos Ambientales Asociados

A partir de la experiencia de terreno, y usando los criterios incluidos en el Anexo 6-1, se ha creado un ranking Ambiental de las Alternativas, asignando un puntaje entre 1 y 5, donde el valor 1 corresponde a aquella alternativa más recomendable desde la perspectiva ambiental, es decir aquella que implicaría el menor impacto, y el valor 5 es aquella menos recomendable, donde el impacto sería mayor. El Cuadro 4.9.2.9-1 muestra el resultado de esta operación.

**CUADRO 4.9.2.9-1**
**RANKING AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS**

| Alternativa | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT4 | ALT5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Puntaje | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 |

Fuente: Elaboración propia

Según lo anterior y los criterios utilizados en esta evaluación se recomienda considerar que los sitios de presa ALT1, ALT2 y ALT3 significarían menor impacto ambiental que los sitios de presa ALT4 y ALT5.

## 4.9.2.10. Accesibilidad

En el caso de este estudio las alternativas ALT1, ALT2 y ALT3 necesariamente necesitan la construcción de caminos de accesos tanto para su talud aguas abajo como su talud aguas. Los sitios ALT4 y ALT5 no tendrían problemas de acceso.

## 4.9.2.11. Tamaño del Proyecto

El tamaño del proyecto es de gran importancia, pudiendo algunas angosturas quedar descartadas porque no permiten almacenar el agua requerida, o bien porque las solicitaciones de carga hidráulica en una presa muy alta pueden ser exageradas, tanto estructuralmente como desde el punto de vista de las filtraciones.
En este caso, todas las alternativas almacenas el volumen requerido y las alturas de muro son similares, entre 45 y 49 metros, por lo que se consideran equivalentes.

## 4.9.2.12. Costos de Expropiaciones

No solamente las características del área de inundación, sino que también la complejidad de algunas obras, como vertedero y túnel by pass, ubicación del cauce principal del río, etc., pueden derivar en requerimientos de mayor o menor envergadura respecto de las expropiaciones, que pueden tener una incidencia relevante en el presupuesto final.
Se estimó la superficie a expropiar en base a las áreas de riego que serían inundadas por las alternativas de embalse ya que el resto del territorio pertenecería a bienes nacioales. En el Cuadro 4.9.2.12-1 se presentan las superficies a expropiar por sitio de embalse.

**CUADRO 4.9.2.12-1**
**ÁREA A EXPROPIAR (HA)**

| Alternativa | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT4 | ALT5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Área a expropiar | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 9,2 | 2,2 |

Fuente: Elaboración Propia

Los costos por expropiar son mayores para el sitio ALT4 Esos costos se encuentran reflejados en el costo total estimado para cada alternativa.

## 4.9.2.13. Facilidades para Diseñar las Obras de Arte Asociadas

Las obras de arte, principalmente vertedero y túnel by pass, pueden ser complejas y costosas según el tipo de diseño que se pueda efectuar. Influyen en forma importante para ello la geomorfología y la geología y geotecnia del sector de la presa, por lo que son aspectos a tomar en consideración en el análisis del sitio de embalse.
Desde este punto de vista, no se observan diferencias mayores entre los sitios ALT1, ALT4 y ALT5 alternativos, definiéndose en los dos casos el mismo tipo de obra de arte y las mismas dificultades técnicas para su ejecución. Las diferencias menores corresponderían a las longitudes de túneles y canales que se reflejan en los presupuestos de los prediseños.
Por su parte, los sitios ALT2 y ALT3 al ser del tipo RCC presenta un muro vertedor para el paso de crecidas y un cajón por debajo del muro como obra de desvío lo que la hacen independiente de la geomorfología, geología y geotecnia del sitio y por tanto sus diseños son más simples y de menor costo con respecto al resto de las alternativas.

### 4.9.2.14. Facilidades Constructivas

En este punto la presa tipo RCC saca ventajas de las presas CFGD en los siguientes aspectos:

- Volumen de empréstito: la presa RCC requiere menores volúmenes de empréstito por lo que las faenas de recolección se realizan en menor tiempo.

- Rendimiento y Avance: Salvo al inicio de los trabajos, en donde se debe ajustar el tiempo de las actividades de construcción, el rendimiento en presas de tipo RCC es mejor que las de presas de tipo CFGD.

### 4.9.2.15. Altura del Muro

Este factor no debiera ser relevante si se considera que todas las presas deben quedar diseñadas y construidas con igual seguridad y la altura es similar entre 45 m y 49 m.

### 4.9.2.16. Situación Legal

No existen diferencias entre las tres alternativas desde un punto de vista legal.

### 4.9.2.17. Generación Hidroeléctrica

En términos de la generación eléctrica, la alternativa ALT4 tendría un mayor caudal disponible para la generación pero menores alturas de caída para ambos escenarios y viceversa para las otras dos alternativas.
Sin embargo, en términos prácticos, dada la distancia a la que se encuentran de los puntos de enlace, o los poblados a los cuales podrían abastecer eléctricamente, no existe una que saque ventaja con respecto a otra.

### 4.9.2.18. Regulación de Crecidas

De acuerdo a la ubicación geográfica de los tres sitios, la que tiene un mayor potencial como regulador de crecidas es el sitio AL4, ya que capta las aguas de una mayor área.

### 4.9.2.19. Mejoramientos y nuevos trazados de Canales

En este punto, no existen diferencias para los tres sitios de embalse.

### 4.9.2.20. Resumen

Los aspectos cualitativos mencionados anteriormente han permitido elaborar un cuadro de prioridades entre alternativas que se resume en el Cuadro 4.9.2.20-1, y que entrega en términos globales la primera prioridad a los sitios ALT1, ALT2 y ALT3. Donde se le asignan valores del 1 al 5 considerando 1 como la mejor alternativa y 5 como la peor alternativa.

**CUADRO 4.9.2.20-1**
**COMPARACIÓN CUALITATIVA DE DIFERENTES ASPECTOS**

| Parámetro | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT4 | ALT5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Tipo de presa | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Relación Agua/Muro | 3 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| Características Geológicas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Características Geotécnicas | 2 | 1 | 3 | 4 | 5 |
| Características productivas zona a inundar | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Ubicación con respecto a la zona de riego | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Ubicación con respecto a los recursos de agua | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Evaporación | 3 | 5 | 4 | 1 | 2 |
| Cantidad y características de las interferencias | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| Impactos ambientales asociados | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 |
| Accesibilidad | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Tamaño del proyecto | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Costos de expropiaciones | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Facilidades para el diseño de las obras de arte | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Facilidades constructivas | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| Altura del muro | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Situación legal | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Generación hidroeléctrica | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Regulación de Crecidas | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Mejoramientos y nuevos trazados de Canales | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Total** | **33** | **31** | **32** | **42** | **42** |

Fuente: Elaboración propia

## *4.10. Costo de las Inversiones*

### 4.10.1. Precios Unitarios

Los precios unitarios, en adelante PU, que se utilizaron para de la valorización de las obras consideradas en cada alternativa de emplazamiento de embalse se prepararon a partir de información disponible en la base de datos del Consultor, en proyectos ejecutados en diciembre de 2003.

En el Cuadro 4.10.1-1 se muestran los Precios Unitarios de las principales partidas de las obras de arte del embalse, actualizados al 1 Enero de 2013 y adaptados a la zona geográfica de ubicación del proyecto. El análisis de los precios unitarios se desarrolló solo para las partidas principales, cuyo resultado en pesos chilenos se presenta en el Anexo 4-16**.** Los precios indicados son costos directos, es decir, no incluyen gastos generales, utilidades ni tampoco IVA.

## CUADRO 4.10.1-1
## PRECIOS UNITARIOS ($) 1 ENERO 2013

| Código | Descripción | Unidad | Precio privado ($) |
|---|---|---|---|
| 0001 | Limpieza / Despeje | m² | $ 1.815 |
| 0002 | Excavaciones abiertas en roca | m³ | $ 15.264 |
| 0003 | Excavación abierta en roca con explosivo | m³ | $ 48.136 |
| 0004 | Relleno Hormigón Pobre con bolón | m³ | $ 47.831 |
| 0005 | Hormigón H-30 | m³ | $ 145.213 |
| 0006 | Excavaciones en material común | m³ | $ 2.988 |
| 0007 | Inyecciones | m | $ 156.193 |
| 0008 | Pared moldeada (0,6 m espesor) | m² | $ 358.622 |
| 0009 | Hormigón H-30 túnel | m³ | $ 187.082 |
| 00010 | Excavación Subterránea en Roca | m³ | $ 83.432 |
| 00011 | Instalación de Faenas | Gl | $ 498.000.000 |
| 00012 | Hormigón H-35 | m³ | $ 158.348 |
| 00013 | Hormigón Rodillado | m³ | $ 107.621 |
| 00014 | Relleno Terraplén | m³ | $ 5.487 |
| 00015 | Cruce de Quebradas | un | $ 5.000.000 |
| 00016 | Grava compactada | m³ | $ 8.890 |
| 00017 | Pantalla Hormigón H-30 | m³ | $ 145.213 |
| 00018 | Plinto Hormigón H-30 | m³ | $ 145.213 |
| 00019 | Parapeto Hormigón H-30 | m³ | $ 145.213 |
| 00020 | Pernos de anclaje para taludes > 70º | m | $ 142.425 |
| 00021 | Marcos de refuerzo | un | $ 517.680 |
| 00022 | Puente cruce rio | un | $ 36.000.000 |
| 00023 | Excavaciones en material fluvial | m³ | $ 3.881 |
| 00024 | Obra de Captación y Entrega V. Tradicional | Gl | $ 42.000.000 |
| 00026 | Obra de Captación y Entrega RCC | Gl | $ 26.000.000 |
| 00027 | Ataguías | Gl | $ 5.000.000 |
| 00028 | Túnel desvío presa RCC | Gl | $ 10.000.000 |
| 00029 | Tubería HDPE DN 400 PN16 | m | $ 105.635 |
| 00030 | Tubería HDPE DN 315 PN10 | m | $ 38.748 |
| 00031 | Relleno excavación tuberías | m³ | $ 868 |
| 00032 | Retiro excedentes | m³ | $ 2.979 |
| 00035 | Cámaras piezas especiales | Gl | $ 7.000.000 |
| 00038 | Metro lineal Túnel D 7-8 m | ml | $ 4.812.795 |
| 00039 | Metro lineal Canal hormigón 0,2X0,3 | ml | $ 25.674 |
| 00040 | Metro lineal Canal hormigón 0,3X0,45 | ml | $ 36.532 |
| 00041 | Tubería HDPE DN 400 mm PN2.5 | ml | $ 13.420 |
| 00042 | Tubo HDPE PE80 PN4 DN 400mm | ml | $ 25.752 |

**CUADRO 4.10.1-1**
**PRECIOS UNITARIOS ($) 1 ENERO 2013**

| Código | Descripción | Unidad | Precio privado ($) |
|---|---|---|---|
| 00043 | Tubo HDPE PE80 PN6 DN 400mm | ml | $ 39.690 |
| 00044 | Tubo HDPE PE80 PN10 DN 400mm | ml | $ 58.975 |
| 00045 | Metro Lineal Tubería DN 400 PN2,5 | ml | $ 17.424 |
| 00046 | Metro Lineal Tubería DN 400 PN4 | ml | $ 29.756 |
| 00047 | Metro Lineal Tubería DN 400 PN6 | ml | $ 43.694 |
| 00048 | Metro Lineal Tubería DN 400 PN10 | ml | $ 62.979 |

**Nota:** Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar 1 Ene 2013: $ 480
UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2013: $ 22.837

Fuente: Elaboración propia

## 4.10.2. Presupuesto de las Obras Preliminares

En los acápites siguientes se presentan los presupuestos de las obras de alternativas estudiadas, de los mejoramientos de la red de distribución y de las variantes de camino, según las partidas más importantes del proyecto. El detalle se puede ver en el Anexo 4-16.

## 4.10.2.1. Costos Obras Alternativas de Embalse Preliminares

En el Cuadro 4.10.2-1 se presentan los costos de cada una de las alternativas. En el Anexo 4-16 se incluyen las cubicaciones de cada partida.

## CUADRO 4.10.2-1
## COSTOS MURO Y OBRAS ANEXAS ALTERNATIVAS DE SITIO DE EMBALSE

| Descripción | Unidad | Costo por Alternativa ($) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT4 | ALT5 |
| **Instalaciones Temporales** | | | | | | |
| Instalación de Faenas | Gl | 498.000.000 | 498.000.000 | 498.000.000 | 498.000.000 | 498,000,000 |
| **Preparación del terreno** | | | | | | |
| Limpieza / Despeje | m2 | 100.507.651 | 12.420.827 | 12.479.599 | 104.715.712 | 204,654,066 |
| Excavación Material común | m3 | 0 | 5.112.043 | 5.136.232 | 0 | 0 |
| Excavaciones abiertas en roca | m3 | 128.723.931 | 0 | 0 | 110.910.917 | 144,190,701 |
| Excavación Material Fluvial | m3 | 30.123.113 | 0 | 0 | 36.081.849 | 115,667,508 |
| **Inyecciones (y pared moldeada para CFGD)** | | | | | | |
| metros perforados | ml | 351.424.722 | 128.855.008 | 128.855.008 | 319.700.206 | 816,441,116 |
| **Excavación para Muro RCC** | | | | | | |
| Excavaciones abiertas en roca | m3 | 0 | 97.867.006 | 88.540.893 | 0 | 0 |
| Excavación abierta en material fluvial | m3 | 0 | 47.045.678 | 54.376.280 | 0 | 0 |
| **Muro CFGD** | | | | | | |
| Grava compactada | m3 | 5.622.258.250 | 0 | 0 | 5.479.635.980 | 11,260,411,820 |
| Pantalla Hormigón H30 | m3 | 2.034.831.956 | 0 | 0 | 2.329.509.763 | 4,893,887,584 |
| **Muro Presa RCC** | | | | | | |
| Hormigón Rodillado Presa RCC | m3 | 0 | 10.283.939.897 | 10.071.173.180 | 0 | 0 |
| Hormigón H30 | m3 | 0 | 998.554.290 | 963.369.180 | 0 | 0 |
| **Vertedero y Obra de Disipación CFGD** | | | | | | |
| Hormigón armado | m3 | 595.459.266 | 0 | 0 | 623.469.111 | 949,801,058 |
| Excavación abierta en roca con explosivo | m3 | 2.933.672.588 | 0 | 0 | 3.224.495.859 | 5,393,455,883 |
| Excavación material común | m3 | 78.045.066 | 0 | 0 | 85.781.894 | 143,483,162 |
| **Vertedero y Obra de Disipación RCC** | | | | | | |
| Hormigón H35 | m3 | 0 | 171.617.562 | 168.849.639 | 0 | 0 |
| Colchón hormigón H5 | m3 | 0 | 523.922.023 | 514.204.931 | 0 | 0 |
| **Túnel de Desvío CFGD** | | | | | | |
| Ataguías | Gl | 5.000.000 | 5.000.000 | 5.000.000 | 5.000.000 | 5,000,000 |
| Largo total del túnel | ml | 1.540.094.498 | 0 | 0 | 1.155.070.873 | 1,540,094,498 |
| **Túnel de Desvío Cajón RCC** | | | | | | |
| Por el Núcleo de la presa | Gl | 0 | 10.000.000 | 10.000.000 | 0 | 0 |
| **Obra de Captación y Entrega** | | | | | | |
| Obra de Captación y Entrega | Gl | 42.000.000 | 0 | 0 | 42.000.000 | 42,000,000 |
| Obra de Captación y Entrega | Gl | 0 | 26.000.000 | 26.000.000 | 0 | 0 |
| | | | | | | |
| **Total Costo Directo** | | **13,960,141,041** | **12.808.334.335** | **12.545.984.941** | **14.014.372.165** | **26.007.087.397** |
| **Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)** | | **6,282,063,468** | **5.763.750.451** | **5.645.693.223** | **6.306.467.474** | **11.703.189.329** |
| **Contingencia (15%)** | | **2,094,021,156** | **1.921.250.150** | **1.881.897.741** | **2.102.155.825** | **3.901.063.110** |
| **Sub-Total Neto** | | **22,336,225,665** | **20.493.334.936** | **20.073.575.905** | **22.422.995.463** | **41.611.339.835** |

**Nota:** Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar 1 Ene 2013: $ 480
UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2013: $ 22.837

Fuente: Elaboración Propia

## 4.10.2.2. Costos Obras de Mejoramiento de Canales y Nuevos Trazados Preliminares

En el Cuadro 4.10.2.2-1 se presentan los costos asociados al mejoramiento de los canales existentes y a los nuevos canales proyectados.

## CUADRO 4.10.2.2-1
## COSTOS UBRAS DE MEJORAMIENTO DE CANALES Y NUEVOS TRAZADOS

| Descripción | Unidad | PU | Cantidad | Total ($) |
|---|---|---|---|---|
| **Construcción y Mejoramiento de Canales** | | | | |
| Metro Lineal Canal hormigón 0,2X0,3 | ml | 25.674 | 5.711 | 146.633.384 |
| Metro Lineal Canal hormigón 0,3X0,45 | ml | 36.532 | 440 | 16.073.955 |
| Metro Lineal Tubería DN 400 PN2,5 | ml | 17.424 | 18.239 | 317.809.243 |
| **Total Costo Directo** | | | | **480.516.583** |
| **Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)** | | | | **216.232.462** |
| **Contingencia (15%)** | | | | **72.077.487** |
| **Sub-Total Neto** | | | | **768.826.533** |

**Nota:** Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar 1 Ene 2013: $ 480
UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2013: $ 22.837

Fuente: Elaboración Propia

Cabe señalar que el valor de la conducción Curaña-Cerro Unitas (Cu-C.U.) se analizó bajo distintos escenarios, los cuales son: tubería con flujo de lámina libre, en presión con cámaras corta presión y en presión sin cortes de presión. En el Cuadro 4.10.2.2-2 se entregan los costos directos por cada uno de los casos. El escenario más económico resultó ser el flujo de lámina libre para una tubería de 400 mm de diámetro con un costo directo de $ 328.629.042 pesos.

## CUADRO 4.10.2.2-2
## COMPARACIÓN DE COSTOS CONDUCCIÓN CURAÑA-CERRO UNITAS

| Descripción | Unidad | PU | Cantidad | Total |
|---|---|---|---|---|
| **Conducción Escurrimiento lámina libre** | | | | **328,629,042** |
| Metro Lineal Tubería DN 400 PN2.5 | ml | 17,424 | 18239 | 317,809,243 |
| Cámara de Inspección DN 400 mm | unid | 141,475 | 76 | 10,819,799 |
| **Conducción en presión con cámaras corta presión** | | | | **338,809,243** |
| Metro Lineal Tubería DN 400 PN2.5 | ml | 17,424 | 18239 | 317,809,243 |
| Cámara Corta Presión | unid | 7,000,000 | 3 | 21,000,000 |
| **Conducción en presión sin cámaras corta presión** | | | | **733,612,559** |
| Metro Lineal Tubería DN 400 PN2.5 | ml | 17,424 | 5000 | 87,122,357 |
| Metro Lineal Tubería DN 400 PN4 | ml | 29,756 | 3200 | 95,220,708 |
| Metro Lineal Tubería DN 400 PN6 | ml | 43,694 | 4200 | 183,516,779 |
| Metro Lineal Tubería DN 400 PN10 | ml | 62,979 | 5839 | 367,752,715 |

**Nota:** Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar 1 Ene 2013: $ 480
UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2013: $ 22.837

Fuente: Elaboración Propia

## 4.10.2.3. Costos Variante de Caminos Preliminares

En el Cuadro 4.10.2.3-1 se presentan los costos asociados a la variante de camino necesaria para mantener la conectividad de los poblados y sectores ubicados aguas arriba de los sitios alternativos de embalse.

**CUADRO 4.10.2.3-1**
**COSTOS MURO Y OBRAS ANEXAS ALTERNATIVAS DE SITIO DE EMBALSE**

| Descripción | Unidad | Costo por Alternativa ($) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT4 | ALT5 |
| **Construcción de caminos** | | | | | | |
| Excavación abierta en roca con explosivo | $m^3$ | 283.873.708 | 319.042.183 | 311.658.746 | 422.507.446 | 191,483,600 |
| Excavaciones abiertas en roca | $m^3$ | 210.039.181 | 236.060.462 | 230.597.430 | 312.614.783 | 141,679,406 |
| Relleno Terraplén | $m^3$ | 82.970.847 | 93.249.919 | 91.091.882 | 123.490.834 | 55,966,988 |
| Retiro excedentes | $m^3$ | 13.513.950 | 15.188.163 | 14.836.671 | 20.113.679 | 9,115,673 |
| Cruce de Quebradas | unid | 5.000.000 | 5.000.000 | 5.000.000 | 10.000.000 | 5,000,000 |
| | | | | | | |
| **Total Costo Directo** | | **595.397.687** | **668.540.727** | **653.184.730** | **888.726.742** | **403.245.668** |
| **Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)** | | **267.928.959** | **300.843.327** | **293.933.128** | **399.927.034** | **181.460.550** |
| **Contingencia (15%)** | | **89.309.653** | **100.281.109** | **97.977.709** | **133.309.011** | **60.486.850** |
| **Sub-Total Neto** | | **952.636.299** | **1.069.665.163** | **1.045.095.567** | **1.421.962.787** | **645.193.068** |

**Nota:** Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar 1 Ene 2013: $ 480
UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2013: $ 22.837
Fuente: Elaboración Propia

## 4.10.2.4. Costo de Expropiación Preliminares

El valor de la tierra se estimó a partir de los antecedentes recopilados por la ODEPA en base a información de avisos en la Revista del Campo y clasificados del diario "El Mercurio", actualizados a Diciembre de 2010. Este valor se fijó en 4.500.000 $/ha, o bien 209,7 UF (Dic/2010) que al actualizarlas al 1 de Enero de 2013 se obtuvo un valor de 4.788.931 $/ha. Finalmente, se aproximó a 4.800.000 $/ha, el cual se consideró como valor final.

**CUADRO 4.10.2.4-1**
**COSTOS DE EXPROPIACIÓN POR INUNDACIÓN**

| Alternativa | Área (ha) | Costo ($) |
|---|---|---|
| ALT1 | 118 | 563,855,478 |
| ALT2 | 130 | 623,759,335 |
| ALT3 | 128 | 611,989,828 |
| ALT4 | 93 | 444,005,101 |

| | | |
|---|---|---|
| ALT5 | 103 | 491,498,912 |

Fuente: Elaboración Propia

## 4.10.2.5. Costos por Mitigación de Impacto Ambiental

En general, el costo por mitigación de impacto ambiental en proyectos de embalses realizados por DOH fluctúa entre el 5 y 7% del Costo Directo. De manera preliminar se estima como un 5% del Costo Directo de las obras civiles de cada alternativa.

## 4.10.2.6. Resumen de Presupuestos

En el Cuadro 4.10.2.6-1 se resumen los costos estimados para cada alternativa de sitio de embalse, este Cuadro incluye los costos de las obras, gastos generales y contingencias. En la Figura 4.10.2.6-1 se muestra gráficamente este resumen.
Se calcularon además indicadores Costo Total vs. Volumen de relleno y Costo Total vs. Volumen Embalsado los cuales se presentan en las Figuras 4.10.2.6-2 y 4.10.2.6-3. En el primero las alternativas ALT2 y ALT3 tienen valores cercanos a los 175.000 $/m$^3$ muy por encima de los obtenidos en las alternativas ALT1, ALT4 y ALT5, donde el valor del indicador fue de 33.570 $/m$^3$, 34.392 $/m$^3$ 29.755 $/m$^3$ respectivamente. Esto se debe a que se utilizan diferentes tipos de muro, los primeros de RCC y los segundos de CFGD. Se observa que mientras mayor es el relleno necesario y por ende mayor la magnitud de las obras el costo unitario disminuye.
Respecto al segundo indicador se observa que el metro cúbico de agua más económico corresponde a la alternativa ALT3 (1.487 $/m$^3$) mientras que la menos rentable corresponde a la alternativa ALT5 con valor de metro cúbico de agua igual a $ 2.956.

**CUADRO 4.10.2.6-1**
**RESUMEN DE COSTOS POR ALTERNATIVAS**
**TOTAL NETO; INCLUYE GG Y UTILIDADES (0,45%), CONTINGENCIAS (0,15%)**

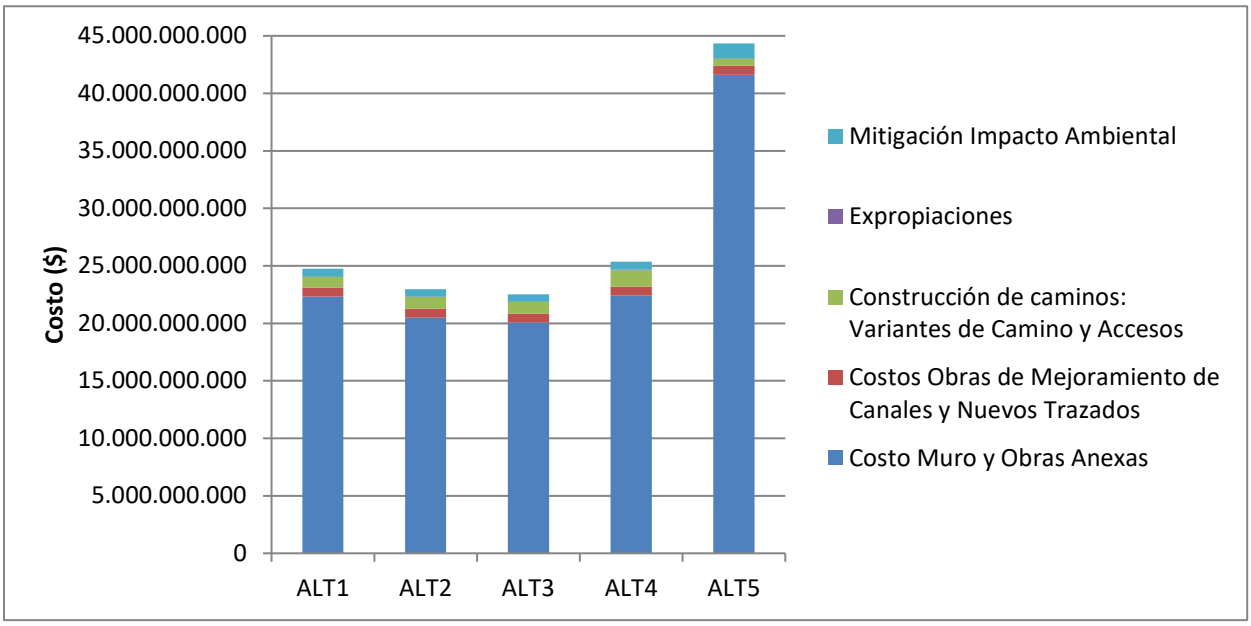
| Descripción | Costo por Alternativa ($) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT4 | ALT5 |
| Costo Muro y Obras Anexas | 22.336.225.665 | 20.493.334.936 | 20.073.575.905 | 22.422.995.463 | 41.611.339.835 |
| Costos Obras de Mejoramiento de Canales y Nuevos Trazados | 768.826.533 | 768.826.533 | 768.826.533 | 768.826.533 | 768.826.533 |
| Construcción de caminos: Variantes de Camino y Accesos | 937.765.228 | 1.054.794.092 | 1.030.224.496 | 1.421.962.787 | 645.193.068 |
| Expropiaciones | 10.535.649 | 10.535.649 | 10.535.649 | 44.058.170 | 10.535.649 |
| Mitigación Impacto Ambiental | 698.007.052 | 640.416.717 | 627.299.247 | 700.718.608 | 1.300.354.370 |
| **Total** | **24.751.360.127** | **22.967.907.926** | **22.510.461.831** | **25.358.561.562** | **44.336.249.456** |

**Nota:** Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar 1 Ene 2013: $ 480

UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2013: $ 22.837

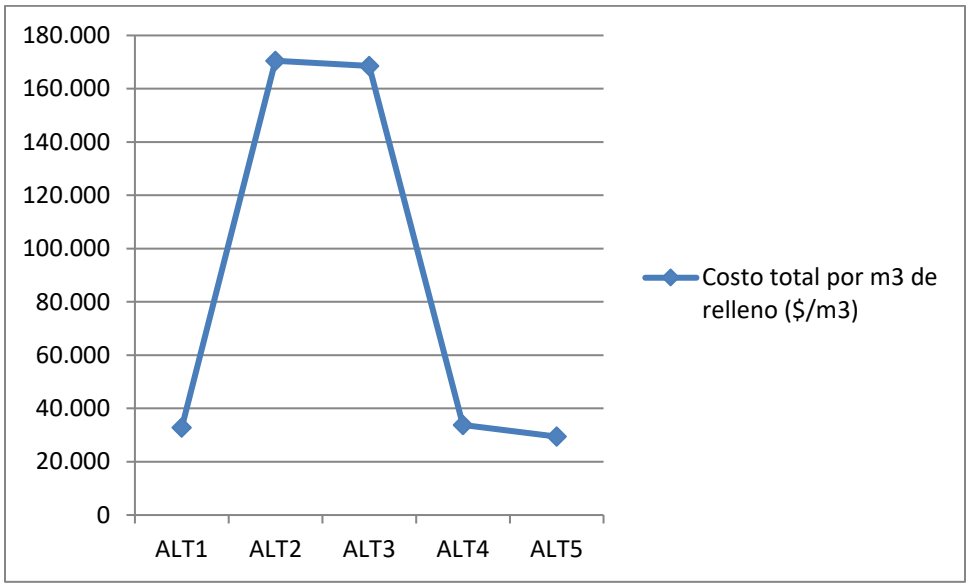
Fuente: Elaboración Propia

## FIGURA 4.10.2.6-1
## RESUMEN FINAL PRESUPUESTOS



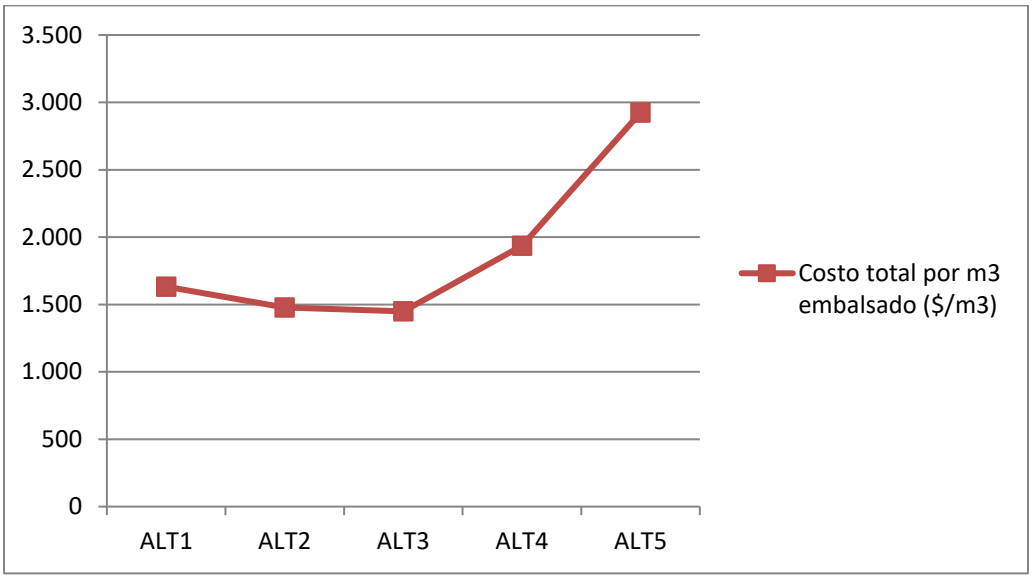

Fuente: Elaboración propia

## FIGURA 4.10.2.6-2
## CURVA COSTO TOTAL VS m³ DE RELLENO




Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 4.10.2.6-3**
**CURVA COSTO TOTAL VS m³ EMBALSADO**




Fuente: Elaboración propia

## 4.10.3. Costos Totales

El Cuadro 4.10.3-1 muestra los costos por alternativa de proyecto en los escenarios planteados, incluyendo costos por expropiaciones y costos ambientales.

**CUADRO 4.10.3-1**
**COSTOS TOTALES**

| Descripción | Costo POR Alternativa ($) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT4 | ALT5 |
| Costo Muro y Obras Anexas | 22.336.225.665 | 20.493.334.936 | 20.073.575.905 | 22.422.995.463 | 41.611.339.835 |
| Costos Obras de Mejoramiento de Canales y Nuevos Trazados | 768.826.533 | 768.826.533 | 768.826.533 | 768.826.533 | 768.826.533 |
| Construcción de caminos: Variantes de Camino y Accesos | 937.765.228 | 1.054.794.092 | 1.030.224.496 | 1.421.962.787 | 645.193.068 |
| Expropiaciones | 10.535.649 | 10.535.649 | 10.535.649 | 44.058.170 | 10.535.649 |
| Mitigación Impacto Ambiental | 698.007.052 | 640.416.717 | 627.299.247 | 700.718.608 | 1.300.354.370 |
| **Total** | **24.751.360.127** | **22.967.907.926** | **22.510.461.831** | **25.358.561.562** | **44.336.249.456** |

Nota: Moneda Enero 2013
Fuente: Elaboración propia


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## 4.10.4. Análisis y Recomendación Final

En resumen, se realizó un análisis, tanto en términos cualitativos como económicos, de las alternativas de sitios de embalse considerando las normativas y exigencias pertinentes a este tipo de obras. Dicho análisis, se evaluó bajo un escenario de riego que contempla 400 ha agrícolas regadas con un 85% de seguridad, obteniéndose las siguientes conclusiones:

- En términos de costo, la alternativa ALT3 es la más conveniente, siendo alrededor de un 50% más económica que la alternativa ALT5 de mayor costo. La alternativa más cara es la 3.

- En términos Cualitativos, el análisis de diversos factores técnicos y legales señalan que las mejores alternativas son los sitios ALT1, ALT2 y ALT3 y que la peor es el sitio ALT5.

- El informe Arqueológico indica que el sitio ALT4, se ubica un importante sitio arqueológico de petroglifos, reconocido como Ariquilda 1, por lo tanto, **debe descartarse definitivamente como ubicación para el Embalse**. Por otra parte, en el sector de Misticsa, donde se ubican el resto de las alternativas, se encontraron 8 sitios arqueológicos repartidos desde el lugar donde se proyectan los muros hasta la confluencia de la quebrada de Aroma con la de Sapte. Estos sitios arqueológicos tendrían que ser levantados de manera más exhaustiva para las eventuales futuras etapas de factibilidad y diseño del proyecto.

- El informe geológico recomienda la alternativa ALT1 por sobre el resto, señalando que en los sitios ALT2 y ALT3 presentan en sus apoyos derechos (norte) una compleja mezcla de bloques rocosos, inestables, con predominio de materiales conglomerádicos de diversa forma y tamaño, que corresponderían a la formación El Diablo, movilizados por un voluminoso deslizamiento multirrotacional, el cual demandaría voluminosas remociones destinadas a la eliminación de dichos materiales y posiblemente a costosos mecanismos de anclaje.

- Además, **descarta categóricamente el sitio ALT5** por no presentar las condiciones necesarias para el apoyo del muro.

- El informe geotécnico señala que para la construcción de una presa, se presentan más favorables los sitios ALT1 y ALT2 ya que la alternativa ALT3 presenta riesgos de inestabilidad de laderas y gran cantidad de bloques sueltos en el lecho del río que sería necesario remover. Finalmente recomienda la ALT2 por presentar una garganta mas angosta.

- No se considera necesario realizar nuevos trazados de canales para satisfacer la demanda de agua del sector agrícola de la parte alta del valle (Pailca a Ariquilda), pero si se propone realizar un mejoramiento de ellos, revistiéndolos en todo su desarrollo, ya que de esta manera se mejora su conducción, se facilita su limpieza y perdurabilidad.

- Respecto a los canales en el sector de Curaña es necesario el trazado de un nuevo canal para regar el sector denominado como Vegas de Curaña, aumentar la capacidad del

canal Curaña en su tramo de tierra y también en su tramo en tubería (Conducción Curaña-Cerro Unitas)

- La cercanía en la ubicación geográfica de las alternativas no descartadas, las hace equivalentes en términos de recolección de los recursos hídricos y en capacidad como reguladoras de crecidas.

- En términos de superficie beneficiada, no hay diferencia entre las alternativas de sitio de embalse que favorecerían a alrededor de 400 ha.

- Desde la perspectiva del impacto ambiental asociado a los sitios de presa analizados, los sitios ALT1, ALT2 y ALT3 no presentan diferencias y resultan ser los que menos impacto ambiental ocasionan, y son por lo tanto, los más recomendables, no obstante, la alternativa que resulte seleccionada, requerirá la ejecución de planes de mitigación específicos (a detallar en el Estudio de Análisis Ambiental), y un estricto manejo y seguimiento ambiental con el fin de minimizar aquellos impactos que no puedan ser evitados, debido a la características de este tipo de obras. Por su parte, las Alternativas ALT4 y ALT5, debieran descartarse definitivamente, debido a que la primera inundaría un sitio de interés arqueológico y la segunda inundaría parte de la Reserva Nacional Volcán Isluga.

- Dados los antecedentes expuestos en la presente etapa, los sitios ALT4 y ALT5 son descartados por no presentar las características mínimas para la construcción de un embalse y por tanto el estudio se desarrollará para los sitios ALT1, ALT2 y ALT3.

# 3. trabajos de terreno

En el presente capítulo se incluyen los trabajos de terreno que se precisan para la elaboración de los diseños simplificados de las alternativas de emplazamiento de la presa y mejoramiento en el sistema de canales existentes. Dichos trabajos se utilizarán posteriormente para desarrollar los diseños preliminares de la presa seleccionada, los nuevos canales proyectados y los canales que se requieran mejorar.
Los trabajos incluidos en esta etapa son:

- Avance de trabajos de la restitución aerofotogramétrica en la zona de riego.
- Construcción de Camino de Acceso para la realización de los sondajes en los sitios alternativos de muro.
- Proposición de ubicación de sondajes en los sitios alternativos de muro y sus avances.
- Realización de perfiles de refracción sísmica y sus resultados.
- Calicatas en los sitios alternativos de muro, en la zona de inundación, en la zona de empréstitos y en los canales que se desea proyectar o mejorar. Avance de Ensayos.
- Campaña de aforos en canales existentes en la quebrada de Aroma.
- Campaña de aforos en río Aroma con el fin de definir las pérdidas por infiltración a lo largo de la quebrada, desde el sector de Misticsa hasta su descarga a la pampa del Tamarugal.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

# *3.1. trabajos aerofotogramétricos y topográficos*

## 3.1.1. Levantamiento Aerofotogramétrico

En este acápite se presenta un resumen de las características del levantamiento aerofotogramétrico que se realizó con el fin de caracterizar las condiciones topográficas del área de estudio. El proceso consideró levantar aerofotogramétricamente una superficie aproximada de 1.000 ha en la zona de Quebrada Aroma para el análisis de los sitios de embalses y 500 ha en la zona media baja del valle de la misma quebrada para la zona de riego. La longitud media del levantamiento en la zona alta fue de 15 km y en la zona media baja del valle de 20 km, aproximadamente incluyendo la faja de la tubería existente.
Se definieron las siguientes etapas fundamentales para elaborar el trabajo:

- Vuelo Aerofotogramétrico
- Apoyo Topográfico y Control Terrestre
- Estereorrestitución Digital
- Edición de Planos Finales

En el Volumen 5: Topografía se da el detalle y resultados del levantamiento Aerofotogramético.

## 3.1.2. Trabajos Topográficos

Los trabajos topográficos relacionados con la zona de estudio, poligonal, nivelación y levantamientos del proyecto se ejecutaron tomando como base los antecedentes proporcionados en el informe realizado por Geoingeniería Ltda. que contiene los puntos georreferenciados de la poligonal base del proyecto mediante posicionadores satelitales GPS. Estos puntos se determinaron en coordenadas UTM, datum SIRGAS.
El desarrollo de los trabajos en terreno se planificó de manera tal de obtener un sistema topográfico único y homogéneo, para lo cual se consideraron las siguientes actividades:

- Construcción de una Red de transporte de coordenadas Primaria que envuelva la totalidad del área y esté ligada a vértice IGM y en base a ella configurar una Red Secundaria construida como una secuencia de cuadriláteros con Bases Intervisibles.

- Construcción de 32 vértices que constituyen las redes Primaria, Secundaria y complementaria para desarrollar y vincular los distintos sectores de la zona de estudio.

- Construcción de los PRs en el sector de las alternativas de embalse (9) y en el sector agrícola más cercano a la carretera 5 norte (6).

- Traslado de coordenadas desde el punto IGM UNITAS, ubicado en el cerro de igual nombre, y traslado de cotas desde el punto Pilar de nivelación del IGM denominado PN 3A 7 a los Red de nivelación con Puntos de Referencia (PRs) construidos en sector uno (zona de Regadío) y sector tres y cuatro (sector de embalses), por medio de una nivelación geométrica entre ambos sectores se

realizó un trasporte por medio de cota optométrica por medio de la Red Primaria y Secundaria.

- Traslado de cotas y coordenadas desde vértices de la Red Primaria y Secundaria hacia la zona de las alternativas de muros y sitios agrícolas, a partir de una Red Complementaria Geodésica de PRs.

- Levantamientos de las tres alternativas de muros y sitios agrícolas, a partir de densificaciones Geodésicas de PRs.

- Nivelación geométrica de la red de PRs mencionados en el punto anterior.

La metodología ocupada en la realización de los trabajos topográfico, ya sea, en la construcción y ubicación de los monolitos para los vértices de las redes y los monolitos para PRs, nivelación geométrica, poligonales GPS y levantamientos, se basó en las Especificaciones Técnicas Topográficas de la Dirección de Obras Hidráulicas (ETT-DOH) y Términos de Referencia de este Estudio, mediante la utilización de la instrumentación adecuada, con el fin de que se cumpla con los requerimientos de precisión y tolerancias que se exige. En el Cuadro 5.1.2-1 se presenta un resumen de los trabajos realizados

**CUADRO 5.1.2-1**
**RESUMEN TRABAJOS TOPOGRÁFICOS**

| Nº | Canal | Nº de PRs |
|---|---|---|
| **1** | Construcción de PRs | 32+15 |
| **2** | Traslado de coordenadas a vértices por medio de poligonal Primaria Geodésica | 4 |
| **3** | Traslado de coordenadas a vértices por medio de poligonal Secundaria Geodésica | 26 |
| | Traslado de coordenadas a PRs por medio de red complementaria Geodésica | 15 |
| **4** | Densificaciones Geodésicas de vértices, dentro de la zona de estudio. | 6+15 |
| **5** | Construcción de PRs para red de transporte de cota. | 37 |
| **6** | Nivelación geométrica de PRs. (kilómetros) | 40 |

Fuente: Elaboración Geoingeniería

En el Volumen 5: Topografía se da el detalle y resultados de los trabajos topográficos realizados en la zona de estudio.

## *3.2. Prospecciones y Ensayes*

En este acápite se presentan los trabajos y resultados en lo que respecta a la realización de las prospecciones (sondajes, calicatas) en el sector de Misticsa, lugar definido como posible sitio para el emplazamiento de un embalse en la quebrada de Aroma. Además, incluye los resultados obtenidos de los perfiles de refracción sísmica realizados en cada una de las alternativas de embalse (ALT1, ALT2 y ALT3).

Dichos trabajos tienen como fin sustentar geotécnicamente la vialidad de los sitios seleccionados para la implantación de la presa.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

El programa de prospecciones, que se describe más adelante, se definió, de manera de proveer los antecedentes para definir a lo menos lo siguiente:

- Tipo de suelo y sus características de excavación y fundación.
- Identificación de los sectores con excavación en roca y las características de ésta, desde el punto de vista de fundación de estructuras.

- Identificación de sectores con problemas tales como terrenos saturados, taludes inestables, etc., que deban mejorarse o para los que deban diseñarse soluciones especiales en esta Consultoría.
- Ubicación y calidad de los empréstitos.

### 3.2.1. Programa de Ejecución

Acorde con lo anteriormente expuesto, el programa de prospecciones para el sector de Misticsa (zona posible de embalse) es el siguiente:

- **Prospecciones en Fundación de la Presa y Obras Anexas:** Ejecución de 9 sondajes distribuidos de la siguiente forma: 2 sondajes de 15 m en cada uno de los estribos de los 3 sitios de embalse con una inclinación de 70º con respecto a la horizontal y 1 sondaje de 20 m en el centro del valle, también para cada uno de los sitios. Las excavaciones consideran un total de 150 m lineales o hasta cumplir con los requisitos estipulados en las Bases Técnicas, lo que podría significar una profundidad menor o mayor.

  Realización de ensayos Lefranc en la sobrecarga y Lugeon cada 5 m, según el material que se esté atravesando y/o el grado de fracturamiento de la roca. Si hay finos, realización de medición SPT, muestreo Shelby. Registro geológico-geotécnico. Además, se determinará el porcentaje de recuperación y el RQD de la roca.

  Para la instalación de la máquina sondeadora se ha construido un camino de acceso a los 3 sitios posibles de muro, y también se han dispuesto plataformas que permitan maniobras para la ejecución de los sondajes.

  Por último se incluyen los siguientes ensayes a las muestras de roca:

  - 6 Compresión simple
  - 3 Corte y descripción petrográfica

- Excavación de 4 calicatas, 2 de 4 metros y 2 de 6 metros, para cada alternativa de sitio de embalse, con el fin de determinar el espesor de suelo a retirar, para su construcción. En total, los pozos de exploración son 12.

  Realización de ensayes según las características del suelo y su factibilidad, entre los cuales se pueden nombrar:

  - 3 Consolidaciones con carga y descarga
  - 3 Triaxiales CIU con mediciones y presión (en caso de que sea factible)
  - 12 Clasificaciones USCS

- Excavación de 4 calicatas de 6 metros de profundidad en los cerros, para complementar caracterización de suelos sobre roca madre si es que se encuentra.

  Realización de ensayes según su factibilidad.

- 3 Triaxiales CIU con mediciones y presión (en caso de que sea factible)

- Ejecución de 1500 m de perfiles de refracción sísmica, para estimar la calidad de la roca en profundidad en diferentes sectores del sitio de presa.

- **Prospecciones en Zona de Inundación:** Excavación de 6 calicatas, 2 de 6 metros, para cada alternativa de sitio de embalse

  Realización de ensayes según las características del suelo y su factibilidad, entre los cuales se pueden nombrar:

  - 6 Clasificaciones USCS completos
  - 1 Consolidación (en caso de finos, que visualmente no se aprecian en el terreno)
  - 3 Corte directo (en caso de finos, que visualmente no se aprecian en el terreno

- **Prospecciones en Trazado de Canales:** Excavación de calicatas de 2 metros de profundidad cada 2 Km de canal en promedio.

  Realización de ensayes según su factibilidad.

  - 6 Clasificaciones USCS

- **Prospecciones en Yacimientos:** Excavación de 5 calicatas de yacimientos de 6 metros, con el fin detectar materiales para rellenos y áridos para hormigones de la presa y sus obras anexas, en una cantidad que supere al menos en un 50% a los volúmenes teóricos. Además se busca determinar sus cualidades geotécnicas y definir el volumen de sedimentos que posiblemente se acumularían en el embalse.

  Realización de ensayes según las características del suelo y su factibilidad, entre los cuales se pueden nombrar:

  - 10 Clasificaciones USCS completos (2 muestras por pozo si profundidad es mayor a los 3 metros)
  - 3 ensayos de Desgaste de los Ángeles

### 3.2.2. Descripción de las Prospecciones Realizadas

## 3.2.2.1. Sondajes

Se aplicaron en terreno las pruebas de Lugeon y Lefranc de acuerdo a las características del material encontrado en cada sondaje, posteriormente, se realizó el registro petrográfico a las muestras de roca (obtenidas de los sondajes) en los laboratorios especializados. Se ingresaron también testigos para la realización de ensayos de compresión simple, desgraciadamente no fue posible su realización porque las muestras se desarmaban a baja


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

presión (ensayo no confinado) y también cuando se intentaron tallar (ensayo confinado). Se incluye en el Anexo 5-1 certificado de ingreso de los testigos. En el Cuadro 5.2.2.1-1 se indican los trabajos y ensayos realizados en cada sondaje y el anexo en el cual se encuentran sus resultados.

## CUADRO 3.2.2.1-1
## TRABAJOS Y ENSAYOS REALIZADOS EN SONDAJES

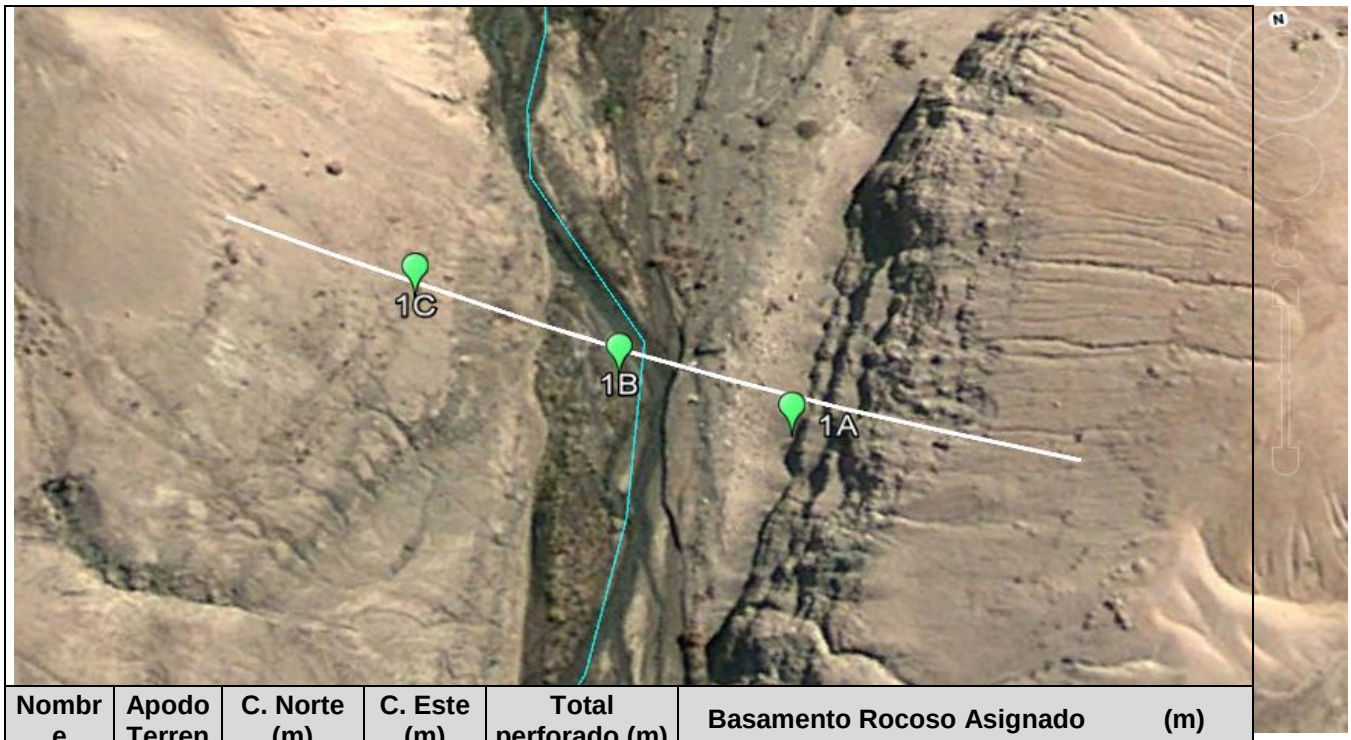
| Resultados y | Realizado | ALT 1 | | | ALT 2 | | | ALT 3 | | | Anexo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ensayos | /Total | 1A | 1B | 1C | 2A | 2B | 2C | 3A | 3B | 3C | |
| Estratigrafía | si | X | X | X | X | X | X | X | X | X | Anexo 5-2 |
| Ensayo Lugeon | si | X | X | X | X | X | X | X | X | X | Anexo 5-3 |
| Ensayo Lefranc | si | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| Corte y Registro Petrográficos | si | - | X | - | - | - | X | X | - | - | Anexo 5-4 |
| Fotos Cajas | si | X | X | X | X | X | X | X | X | X | Anexo 5-5 |
| Registro de Perforaciones | si | X | X | X | X | X | X | X | X | X | Anexo 5-6 |

Fuente: Elaboración propia.

La ubicación de los sondajes del sitio alternativo ALT1 se indica en planta junto a sus coordenadas en la Figura 5.2.2.1-1. Posteriormente, en la Figura 5.2.2.1-2, se incluye una fotografía tomada desde aguas arriba del sitio ALT1 y en las Figuras 5.2.2.1-2 y 5.2.2.1-3 se presentan fotografías de la ubicación de cada sondaje realizado.

El estribo sur (izquierdo) presenta un muro casi vertical e inmediatamente sobre ella una colina de alta pendiente sin accesos, por lo que no fue posible la realización del sondaje 1A sobre él. Por otro lado el estribo norte (derecho) presenta terrazas a las que se accedió luego de la construcción de un camino que permitió el paso del camión con la máquina sondeadora. El sondaje 1C se ejecutó con una inclinación de 70º con respecto a la horizontal para dar una mejor caracterización del los estribo derecho en el cual se apoyaría el muro, lo mismo se realizó en el sondaje 1A.

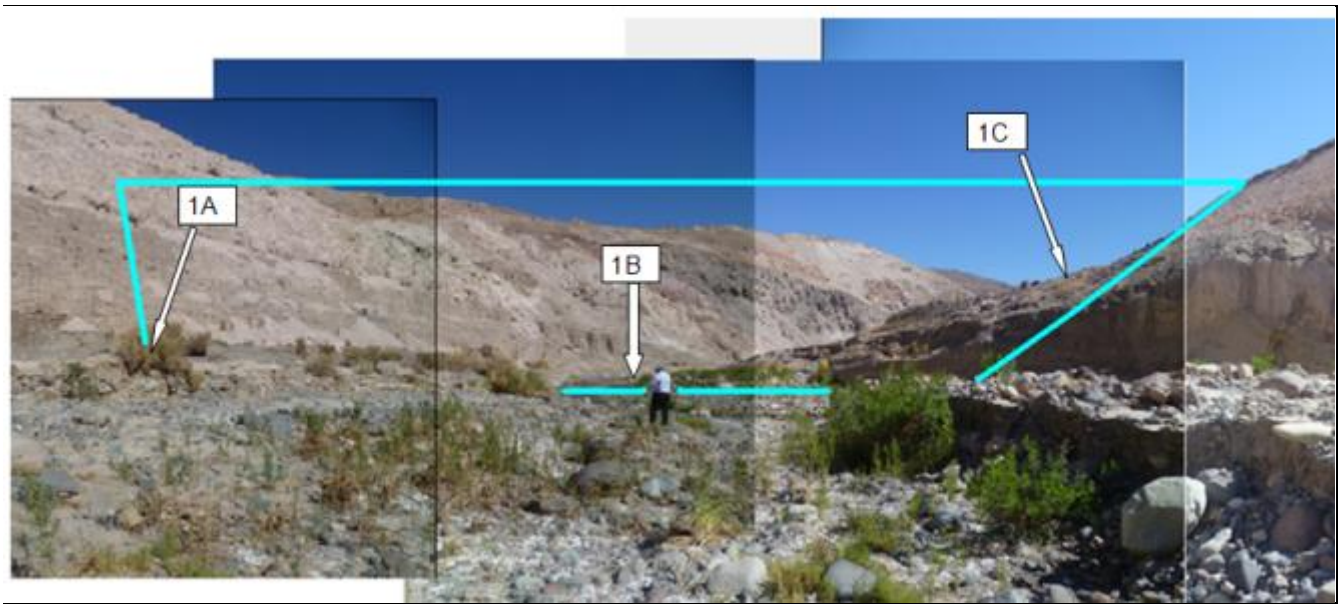
## FIGURA 3.2.2.1-1
## PLANTA Y COORDENADAS DE LOS SONDAJES ALT1




| Nombre | Apodo Terreno | C. Norte (m) | C. Este (m) | Total perforado (m) | Basamento Rocoso Asignado | (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1A | E1S3 | 7.833.485 | 458.786 | 35,3 | Sucesión monótona de conglomerado continental grueso, Formación Altos de Pica | 1,3-34,0<br>34-35,3 |
| 1B | E1S2 | 7.833.502 | 458.756 | 35,5 | Formación Altos de Pica | 1,4-35,5 |
| 1C | E1S1 | 7.833.522 | 458.720 | 35,3 | Formación Altos de Pica | 8,95-35,3 |

Fuente: Elaboración propia, a partir de imagen Google Earth.

## FIGURA 3.2.2.1-2
## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SONDAJES. VISTA DESDE AGUAS ARRIBA




Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5.2.2.1-3 se aprecia el punto en donde se realizó el sondaje 1A, visto desde el estribo norte. El acceso se hizo desde aguas arriba.

## FIGURA 3.2.2.1-3
## SONDAJE 1A SITIO ALTERNATIVO ALT1




Fuente: Elaboración propia.

El sondaje 1B se ejecutó en el centro del eje del muro en el punto indicado en las Figuras 5.2.2.1-2 y 5.2.2.1-4, cercano al paso del río. De esta manera se podrá caracterizar el lecho

del río y definir la profundidad a la cual se encuentra la capa impermeable y sostenedora de la obra.

**FIGURA 3.2.2.1-4**
**SONDAJE 1B SITIO ALTERNATIVO ALT1**




Fuente: Elaboración propia.

El sondaje 1C se realizó en la ubicación propuesta tal como se observa en la Figura 5.2.2.1-5. El acceso se realizó con una retroexcavadora desde una terraza más baja por donde pasa el camino construido para la realización de los sondajes tal como se menciona más adelante en el presente acápite.

**FIGURA 3.2.2.1-5**
**SONDAJE 1C SITIO ALTERNATIVO ALT1**




Fuente: Elaboración propia.

La ubicación de los sondajes del sitio alternativo ALT2 se indica en planta junto a sus coordenadas en la Figura 5.2.2.1-6. Posteriormente, en la Figura 5.2.2.1-7 se incluye una


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

fotografía tomada desde aguas arriba del sitio ALT2 y en las Figuras 5.2.2.1-8 a 5.2.2.1-10 se presentan fotografías de la ubicación de cada sondaje y la instalación de la máquina sondeadora.

**FIGURA 3.2.2.1-6**
**PLANTA Y COORDENADAS DE LOS SONDAJES ALT2**




| Nombre | Apodo Terreno | C. Norte (m) | C. Este (m) | Total perforado (m) | Basamento Rocoso Asignado | (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2A | E2S3 | 7.833.271 | 458.550 | 45,0 | Formación Altos de Pica | 9,8-45,0 |
| 2B | E2S2 | 7.833.279 | 458.526 | 35,4 | Formación Altos de Pica | 15,5-35,4 |
| 2C | E2S1 | 7.833.287 | 458.509 | 38,3 | Formación Altos de Pica | 19,0-38,3 |

Fuente: Elaboración propia, a partir de imagen Google Earth.

## FIGURA 3.2.2.1-7
## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SONDAJES. VISTA DESDE AGUAS ARRIBA




Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5.2.2.1-8 se aprecia el punto donde se realizó el sondaje 2A. Fotografía derecha: vista desde pie de estribo norte alternativa de sitio ALT2. Fotografía izquierda: máquina con inclinación para realización del sondaje.

## FIGURA 3.2.2.1-8
## SONDAJE 2A SITIO ALTERNATIVO ALT2




Fuente: Elaboración propia.

Similar al sondaje 1A, los sondajes 2A y 2C se ejecutaron con una inclinación de 70º con respecto a la horizontal para dar una mejor caracterización de los estribos en los que se apoyaría el posible muro.

Los estribos de este sitio presentan taludes cercanos a los 80º promedio con respecto a la horizontal lo que imposibilitó la realización de los sondajes sobre ellos. La manera en la que se podrían haber efectuado los trabajos sobre los estribos era por medio de la construcción de caminos que alcanzaran la cresta de dichos estribos los que aumentaría el costo de las exploraciones excesivamente y por tanto no se considera factible.
El sondaje 2B se realizó en el centro del eje del muro, cercano al paso del río. De esta manera se podrá caracterizar el lecho del río y definir la profundidad a la cual se encuentra la roca.
La fotografía izquierda (Figura 5.2.2.1-9) es una vista desde aguas arriba del sitio ALT2 mientras que la fotografía de la derecha se observa desde aguas abajo del posible sitio de muro.

**FIGURA 3.2.2.1-9**
**SONDAJE 2B SITIO ALTERNATIVO ALT2**




Fuente: Elaboración propia.

El Sondaje 2C se ubicó al pie de rodados con el fin de realizar el sondaje lo más cerca de la roca. El retiro de los rodados generaría el escurrimiento de los materiales que se encuentran más arriba. En la Figura 5.2.2.1-10 se indica la ubicación del sondaje 2C y el posicionamiento del camión para su realización.

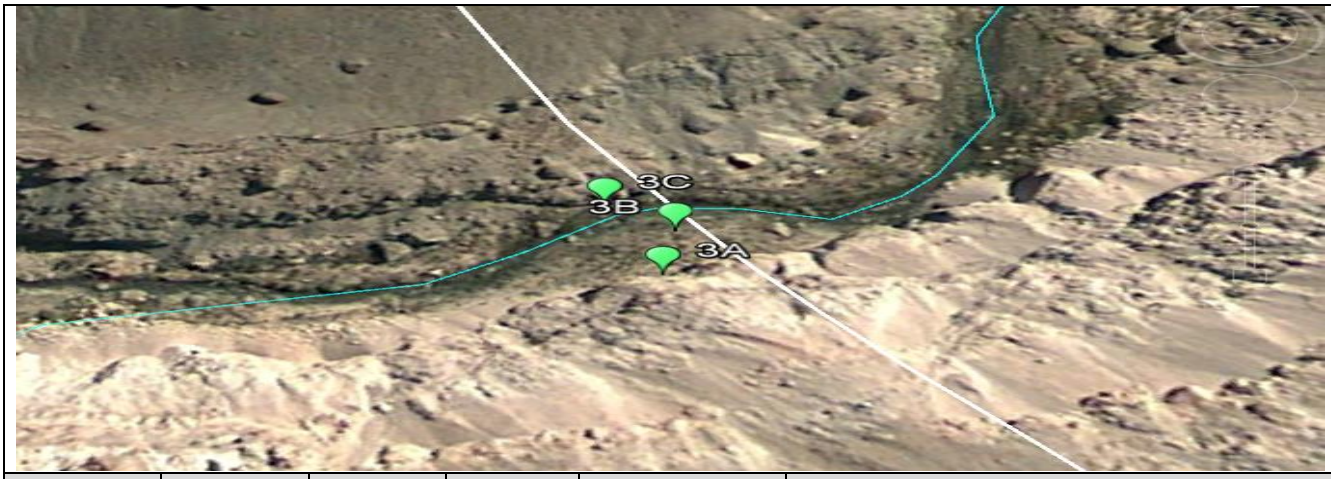
## FIGURA 3.2.2.1-10
## SONDAJE 2C SITIO ALTERNATIVO ALT2




Fuente: Elaboración propia.

La ubicación de los sondajes del sitio alternativo ALT3 se indica en planta junto a sus coordenadas en la Figura 5.2.2.1-11. Posteriormente en la Figura 5.2.2.1-12 se incluye una fotografía tomada desde aguas arriba del sitio ALT3 y en las Figuras 5.2.2.1-13 y 5.2.2.1-15 se presentan fotografías de la ubicación de cada sondaje.

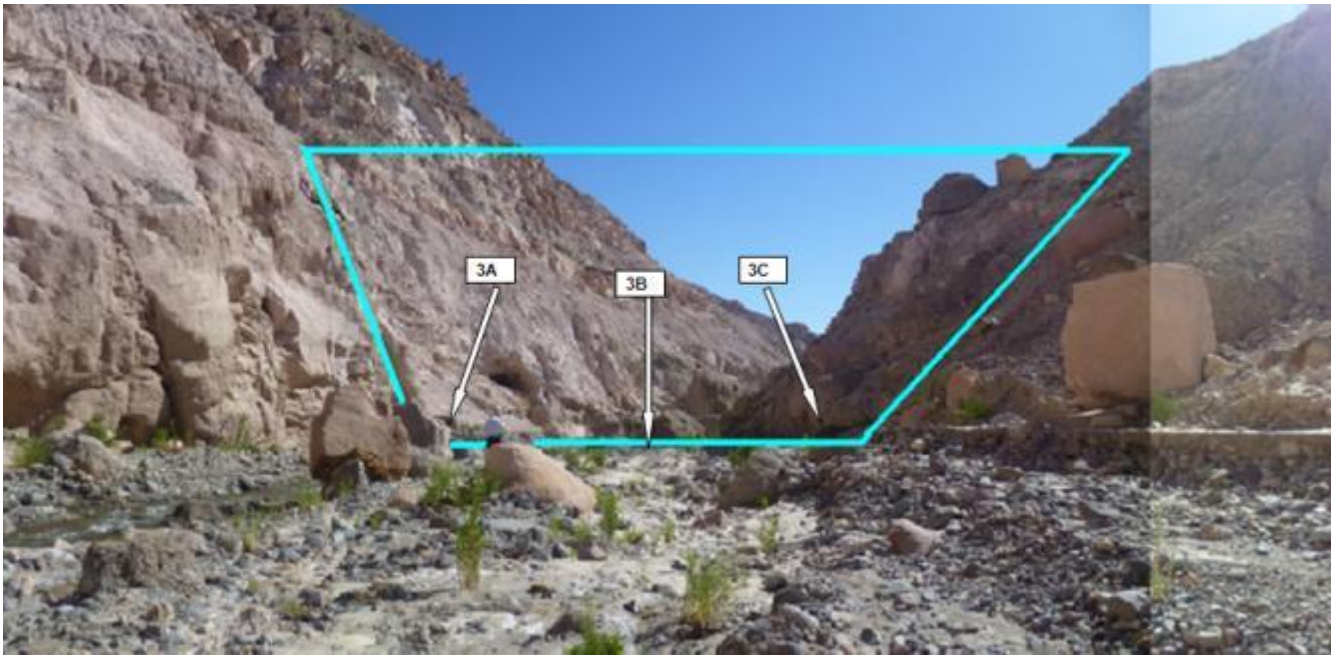
## FIGURA 3.2.2.1-11
## PLANTA Y COORDENADAS DE LOS SONDAJES ALT3




| Nombre | Apodo Terreno | C. Norte (m) | C. Este (m) | Total perforado (m) | Basamento Rocoso Asignado | (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3A | E3S3 | 7.833.103 | 458.437 | 30,1 | Formación Altos de Pica | 3,5-30,1 |
| 3B | E3S2 | 7.833.117 | 458.439 | 35,0 | Formación Altos de Pica | 16,2-35,0 |
| 3C | E3S1 | 7.833.125 | 458.429 | 26,1 | Conglomerado Compacto | 1,2-26,1 |

Fuente: Elaboración propia, a partir de imagen Google Earth.

**FIGURA 3.2.2.1-12**
**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SONDAJES. VISTA DESDE AGUAS ARRIBA**



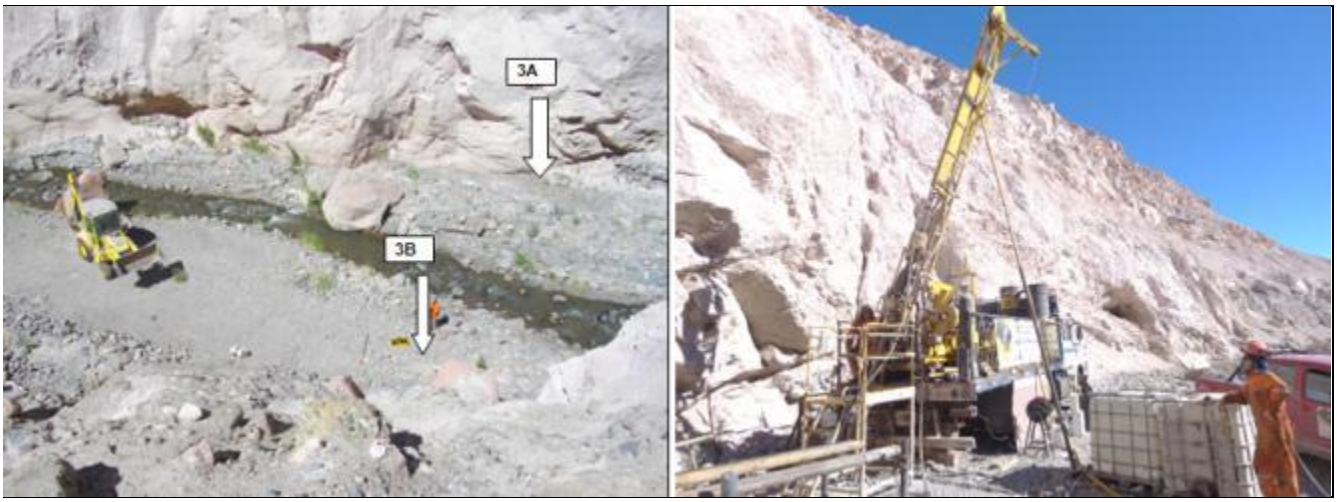

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera que los sondajes en los estribos de los sitios ALT1 y ALT2, los sondajes 3A y 3C se ejecutaron con una inclinación de 70º con respecto a la horizontal para dar una mejor caracterización de los estribos en los que se apoyaría el muro.

En este caso, al igual que el sitio ALT2, no es posible realizar los sondajes sobre los estribos sin antes realizar caminos de acceso de un alto costo, esto debido a lo escarpado de los taludes, en especial del estribo sur (izquierdo). En la Figura 5.2.2.1-13 se indica el lugar en donde se efectuó el sondaje 3A y en la Figura 5.2.2.1-14 donde se efectuó el sondaje 3B.

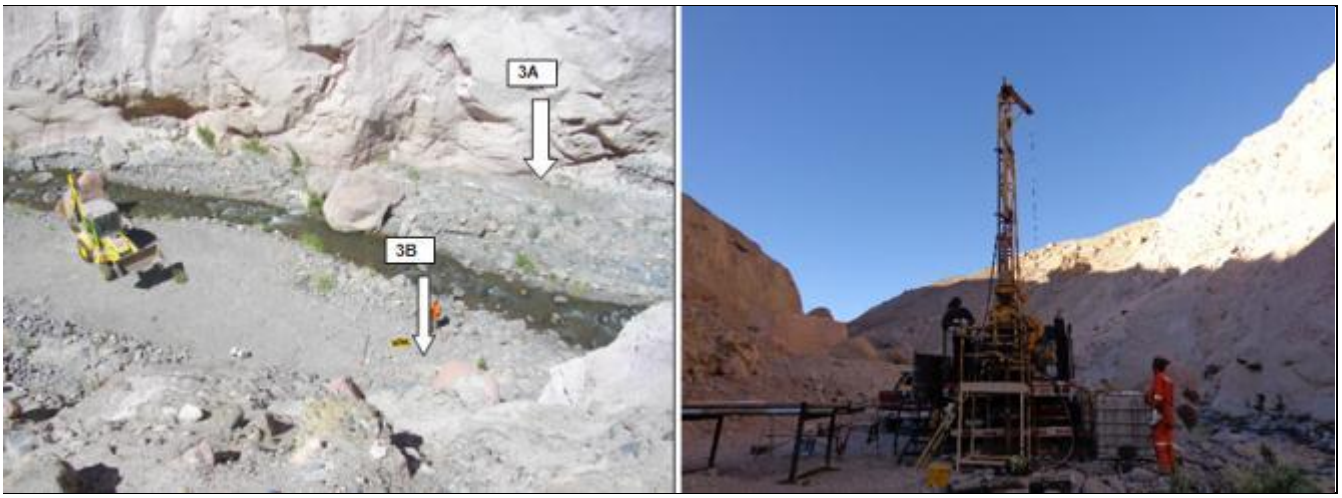

*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## FIGURA 3.2.2.1-13
## SONDAJE 3A SITIO ALTERNATIVO ALT3




Fuente: Elaboración propia.

## FIGURA 3.2.2.1-14
## SONDAJE 3B SITIO ALTERNATIVO ALT3




Fuente: Elaboración propia.

En la Fotografía izquierda (Figura 5.2.2.1-14) capturada desde la cresta del estribo norte (derecho) se aprecia el talud de 85º con respecto a la horizontal aproximadamente del apoyo sur.

Finalmente, en la Figura 5.2.2.1-15 se presenta la ubicación del sondaje 3C, vista desde pie del estribo sur (izquierdo). En las fotografías se aprecia el talud cercano a los 70º con respecto a la horizontal aproximadamente.

**FIGURA 3.2.2.1-15**
**SONDAJE 3C SITIO ALTERNATIVO ALT3**




Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que ya se construyó un camino de acceso por el lecho del río desde la ruta A-459 hasta el sitio posible de muro ALT3 pasando por el sitio ALT1 y ALT2. La longitud del camino es cercana a los 1.394 metros y permitió el ingreso del camión que transporta la máquina sondeadora. En la Figura 5.2.2.1-16 se muestra en planta el trazado de dicho camino. Además en la Figura 5.2.2.1-17 se muestra una fotografía con la retroexcavadora que ejecutó el trabajo.

## FIGURA 3.2.2.1-16
## TRAZADO CAMINO DE ACCESO




Fuente: Elaboración propia, a partir de imagen Google Earth.

## FIGURA 3.2.2.1-17
## TRAZADO CAMINO DE ACCESO



Fuente: Elaboración propia.

## 3.2.2.2. Calicatas y Yacimientos

En las Figuras 5.2.2.2-1 a 5.2.2.2-4 se presenta la ubicación de las calicatas realizadas para el presente estudio, acompañadas de su codificación, coordenadas, profundidad máxima (si hay roca o agua antes del máximo no se sigue profundizando), nivel de la napa.

**FIGURA 3.2.2.2-1**
**UBICACIÓN PROPUESTA CALICATAS**




| Identificación | Coord. Norte (m) | Coord. Este (m) | Nº horizonte | Prof. Napa (m) | Prof. Exc. (m) | Prof. Máx. (m) | Descripción |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C1A | 7.833.442 | 458.740 | 2 | 1,6 | 2,0 | 4 | SITIO ALT1 |
| C1B | 7.833.476 | 458.749 | 2 | 2,3 | 2,9 | 6 | |
| C1C | 7.833.544 | 458.774 | 1 | 1,6 | 1,8 | 6 | |
| C1D | 7.833.595 | 458.803 | 2 | 2,2 | 2,5 | 4 | |
| C2A | 7.833.259 | 458.504 | 2 | 3,7 | 4,0 | 4 | SITIO ALT2 |
| C2B | 7.833.316 | 458.564 | 1 | 1,3 | 1,5 | 6 | |
| C2C | 7.833.331 | 458.632 | 1 | 1,2 | 1,5 | 6 | |
| C2D | 7.833.370 | 458.678 | 2 | 1,6 | 1,7 | 4 | |

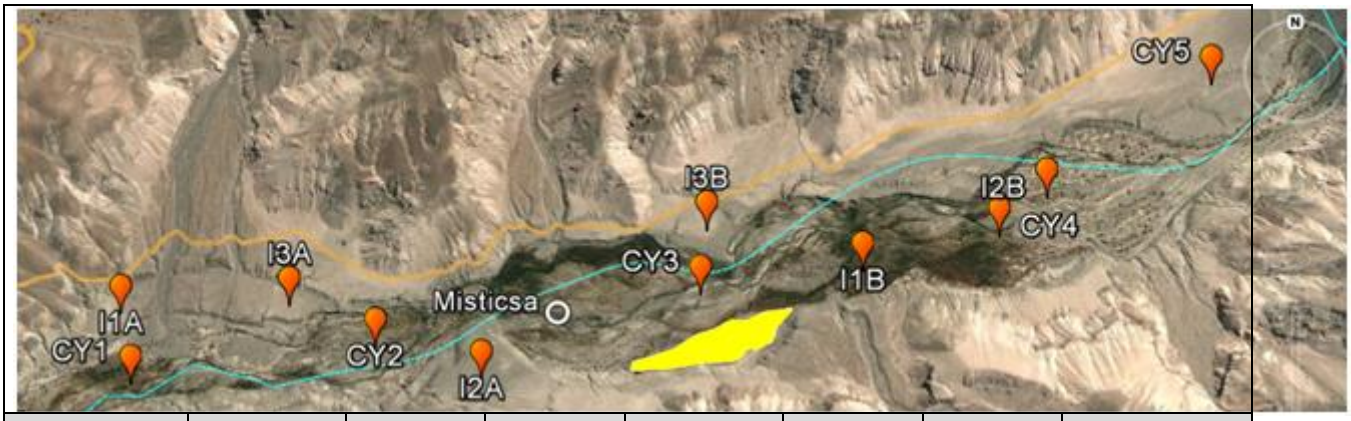
| Identificación | Coord. Norte (m) | Coord. Este (m) | Nº horizonte | Prof. Napa (m) | Prof. Exc. (m) | Prof. Máx. (m) | Descripción |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

## FIGURA 3.2.2.2-1
## UBICACIÓN PROPUESTA CALICATAS

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C3D | 7.833.109 | 458.284 | 1 | - | 3,0 | 4 | SITIO ALT3 |
| C3C | 7.833.099 | 458.380 | 1 | 1,0 | 1,1 | 6 | |
| C3B | 7.833.127 | 458.468 | 1 | - | 5,0 | 6 | |
| C3A | 7.833.192 | 458.490 | 1 | 3,2 | 3,5 | 4 | |
| CC1 | 7.833.140 | 458.415 | 1 | - | 6,0 | 6 | CERROS DE APOYO |
| CC2 | 7.833.163 | 458.406 | 2 | - | 6,0 | 6 | |
| CC3 | 7.833.339 | 458.430 | 1 | - | 4,0 | 6 | |
| CC4 | 7.833.508 | 458.706 | 3 | - | 3,0 | 6 | |

Fuente: Elaboración propia, a partir de imagen Google Earth.

## FIGURA 3.2.2.2-2
## UBICACIÓN PROPUESTA CALICATAS




| Identificación | Coord. Norte (m) | Coord. Este (m) | Nº horizonte | Prof. Napa (m) | Prof. Exc. (m) | Prof. Máx. (m) | Descripción |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I1A | 7.833.965 | 459.070 | 1 | - | 4,2 | 6 | ZONA INUNDACIÓN ALT1 |
| I1B | 7.834.020 | 460.760 | 2 | - | 3,7 | 6 | |
| I2A | 7.833.750 | 459.870 | 3 | - | 4,0 | 6 | ZONA INUNDACIÓN ALT2 |
| I2B | 7.834.189 | 461.250 | 2 | - | 6,0 | 6 | |
| I3A | 7.833.984 | 459.458 | 2 | - | 5,0 | 6 | ZONA INUNDACIÓN ALT3 |
| I3B | 7.834.146 | 460.370 | 2 | - | 6,0 | 6 | |
| CY1 | 7.833.806 | 459.091 | 4 | 2,8 | 3,0 | 6 | YACIMIENTOS |
| CY2 | 7.833.770 | 459.680 | 2 | 3,1 | 3,6 | 6 | |
| CY3 | 7.833.950 | 460.430 | 3 | 4,2 | 4,5 | 6 | |
| CY4 | 7.834.143 | 461.079 | 2 | 2 | 2,3 | 6 | |
| CY5 | 7.834.485 | 461.559 | 4 | - | 4,1 | 6 | |

Fuente: Elaboración propia, a partir de imagen Google Earth.

## FIGURA 3.2.2.2-3

## UBICACIÓN PROPUESTA CALICATAS

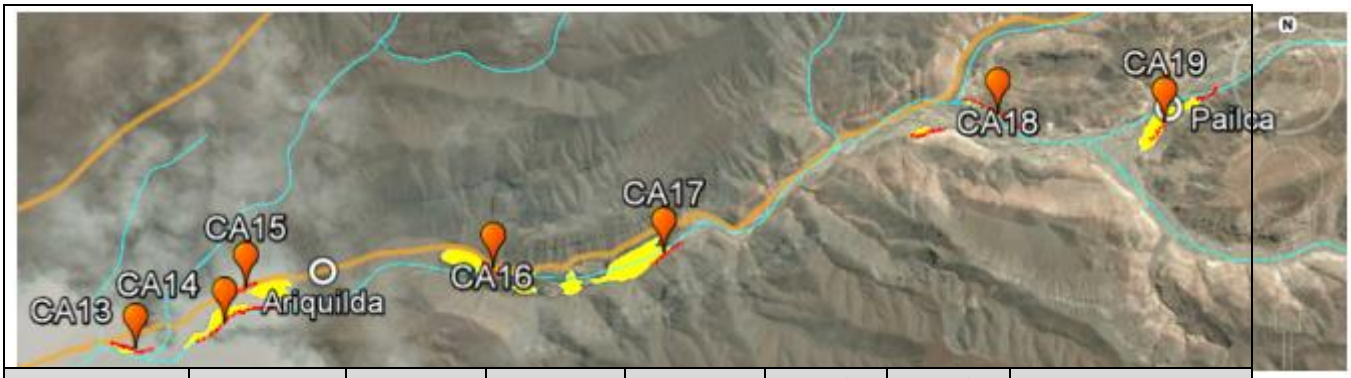



| Identificación | Coord. Norte (m) | Coord. Este (m) | Nº horizonte | Prof. Napa (m) | Prof. Exc. (m) | Prof. Máx, (m) | Descripción |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CA1 | 7.792.098 | 426.645 | 1 | - | 2 | 2 | CONDUCCIÓN CURAÑA - CERRO UNITAS |
| CA2 | 7.794.005 | 427.488 | 2 | - | 2 | 2 | |
| CA3 | 7.795.868 | 427.483 | 2 | - | 2 | 2 | |
| CA4 | 7.797.933 | 427.178 | 3 | - | 2 | 2 | |
| CA5 | 7.799.934 | 426.678 | 2 | - | 2 | 2 | |
| CA6 | 7.801.915 | 426.996 | 2 | - | 2 | 2 | |
| CA7 | 7.804.010 | 427.217 | 1 | - | 2 | 2 | |
| CA8 | 7.805.938 | 427.734 | 2 | - | 1,1 | 2 | |
| CA9 | 7.807.708 | 428.672 | 2 | - | 2 | 2 | |
| CA10 | 7.809.648 | 429.185 | 2 | - | 2 | 2 | |
| CA11 | 7.810.488 | 429.364 | 3 | - | 2 | 2 | CANAL VEGAS DE CURAÑA |
| CA12 | 7.812.387 | 430.296 | 1 | 0,4 | 1,1 | 2 | |

Fuente: Elaboración propia, a partir de imagen Google Earth.

**FIGURA 3.2.2.2-4**

**UBICACIÓN PROPUESTA CALICATAS**




| Identificación | Coord. Norte (m) | Coord. Este (m) | Nº horizonte | Prof. Napa (m) | Prof. Exc. (m) | Prof. Máx, (m) | Descripción |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CA13 | 7.829.758 | 444.852 | 1 | - | 2 | 2 | ARIQUILDA |
| CA14 | 7.829.968 | 445.604 | 2 | - | 2 | 2 | |
| CA15 | 7.830.265 | 445.772 | 2 | - | 2 | 2 | |
| CA16 | 7.830.427 | 447.835 | 3 | - | 2 | 2 | ENTRE ARIQUILDA Y |
| CA17 | 7.830.554 | 449.255 | 3 | - | 2 | 2 | |
| CA18 | 7.831.695 | 452.023 | 1 | - | 2 | 2 | CALA CALA |
| CA19 | 7.831.617 | 453.395 | 3 | - | 2 | 2 | PAILCA |

Fuente: Elaboración propia, a partir de imagen Google Earth.

### 3.2.2.3. Perfiles de Refracción Sísmica

Se realizaron 1.500 m de perfiles de refracción sísmica repartidos entre los tres sitios alternativos de muro. El objetivo de la investigación fue determinar la morfología del basamento subterráneo y las características estratigráficas de los suelos yacentes. Para ello se utilizó el método sísmico de refracción. Se realizaron en total 15 perfiles de 100 m cada uno, distribuidos en el sitio ALT1, ALT2 y ALT3.

La ubicación de estos perfiles se realizó según los siguientes criterios

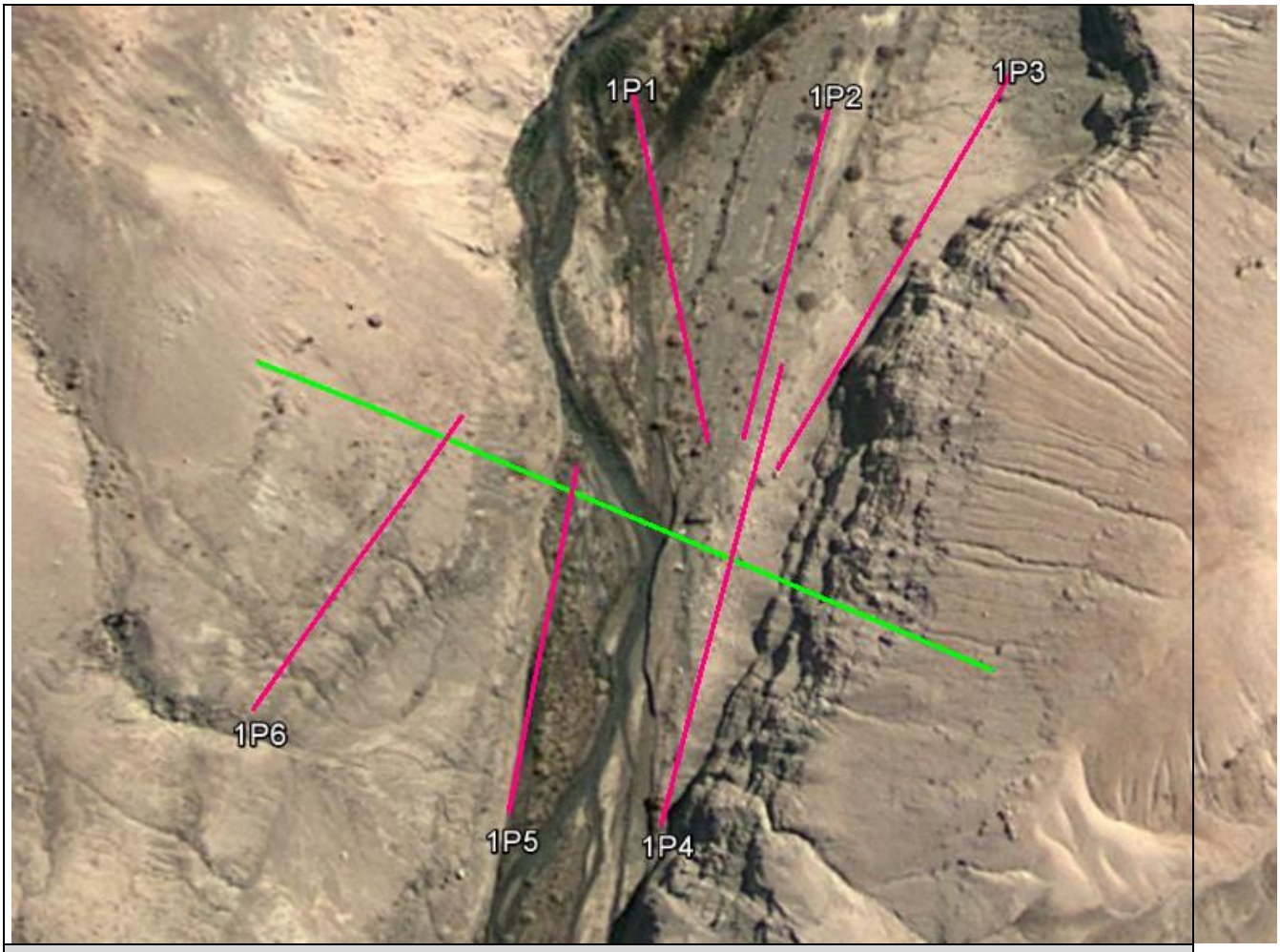
1) En el valle, a lo largo de la caja del río de modo de cubrir toda la zona de fundación de la presa y cercanos a los sondajes de manera de eventualmente calibrarlos con posterioridad. En geosísmica, lo que se obtiene son velocidades de ondas, que pueden ser representativas de diferentes materiales, por lo que se utiliza el resultado del sondaje para asimilar al material correcto.

2) En las laderas, además de ubicarse al menos uno inmediato a los sondajes, se intentó formar una malla reticulada que proporcionara información global acerca de la continuidad del macizo hacia todos los costados en la zona frente al emplazamiento de la presa. Se debe mencionar también, que para lograr mejores resultados, la ubicación de

los perfiles debe realizarse en sectores sin mayores quiebres de pendientes y manteniendo en lo posible una línea recta.

El detalle de estos perfiles se encuentra en el Anexo 5-7. La configuración y distribución se presenta en las Figuras 5.2.2.3-1, 5.2.2.3-2 y 5.2.2.3-3.

**FIGURA 3.2.2.3-1**
**CONFIGURACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PERFILES SÍSMICOS ALT 1**

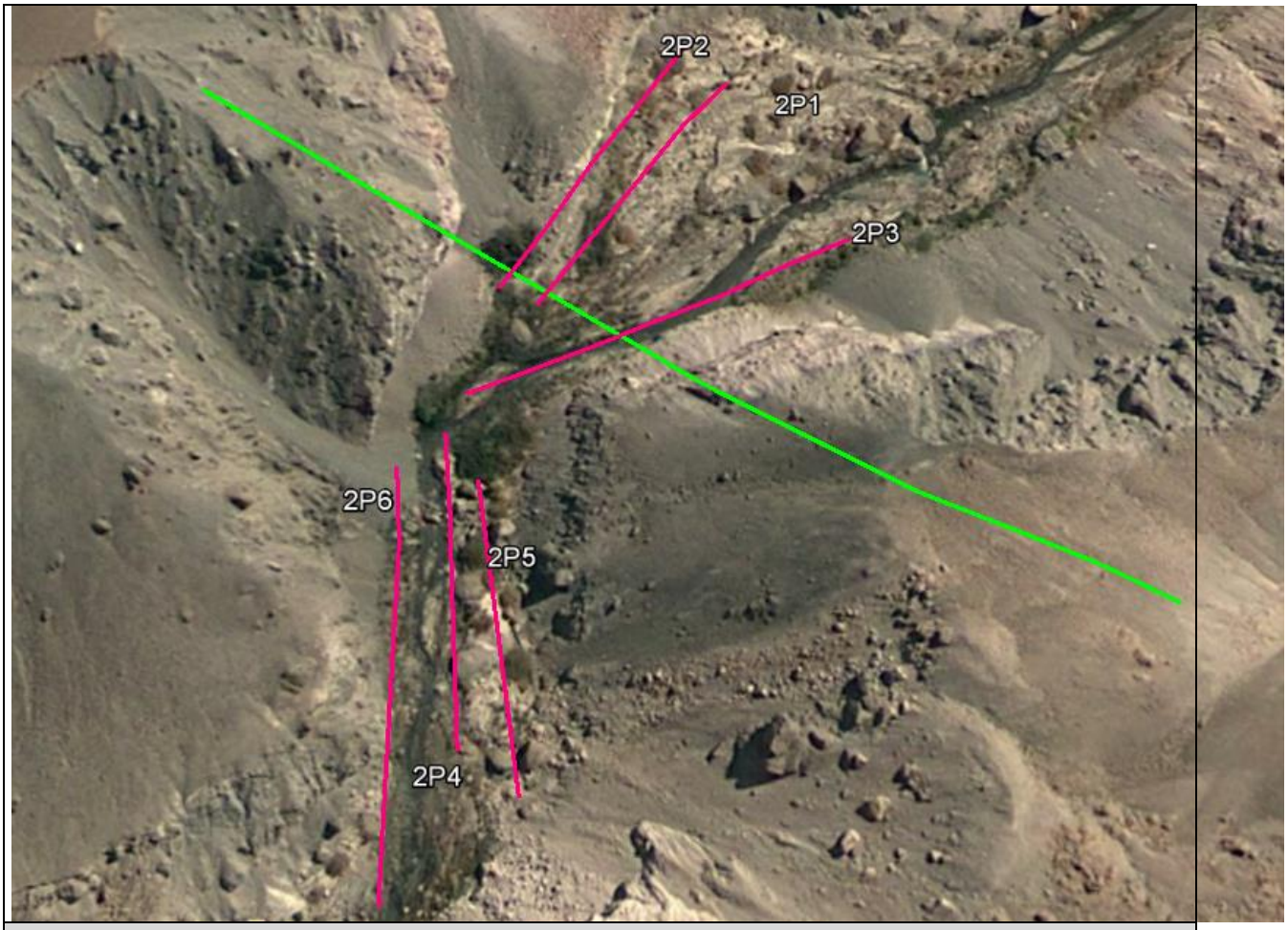



| Cuadro de Coordenadas | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Perfil | Desde | | Hasta | | Longitud (m) |
| | Norte (m) | Este (m) | Norte (m) | Este (m) | |
| 1P1 (1) | 7833520 | 458.775 | 7.833.596 | 458.763 | 75 |
| 1P2 (2) | 7833524 | 458.783 | 7.833.591 | 458.805 | 75 |
| 1P3 (3) | 7833516 | 458.790 | 7.833.596 | 458.845 | 100 |
| 1P4 (4) | 7833440 | 458.761 | 7.833.538 | 458.793 | 100 |
| 1P5 (5) | 7833444 | 458.730 | 7.833.518 | 458.748 | 75 |
| 1P6 (6) | 7833470 | 458.677 | 7.833.529 | 458.724 | 75 |

En verde, el eje del muro de la alternativa.

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

## FIGURA 3.2.2.3-2
## CONFIGURACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PERFILES SÍSMICOS ALT 2




**Cuadro de Coordenadas**

| Perfil | Desde | | Hasta | | Longitud (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Norte (m) | Este (m) | Norte (m) | Este (m) | |
| 2P1 (1) | 7.833.282 | 458.515 | 7.833.342 | 458.563 | 75 |
| 2P2 (2) | 7.833.287 | 458.505 | 7.833.352 | 458.555 | 75 |
| 2P3 (3) | 7.833.264 | 458.497 | 7.833.299 | 458.593 | 100 |
| 2P4 (4) | 7.833.177 | 458.495 | 7.833.256 | 458.493 | 75 |
| 2P5 (5) | 7.833.168 | 458.510 | 7.833.247 | 458.500 | 75 |
| 2P6 (6) | 7.833.145 | 458.477 | 7.833.250 | 458.481 | 100 |

En verde, el eje del muro de la alternativa.
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

## FIGURA 3.2.2.3-3
## CONFIGURACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PERFILES SÍSMICOS ALT 3




| Cuadro de Coordenadas | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Perfil** | **Desde** | | **Hasta** | | **Longitud (m)** |
| | **Norte (m)** | **Este (m)** | **Norte (m)** | **Este (m)** | |
| 3P1 (1) | 7.833.152 | 458.477 | 7.833.114 | 458.403 | 80 |
| 3P2 (2) | 7.833.158 | 458.493 | 7.833.109 | 458.406 | 90 |
| 3P3 (3) | 7.833.120 | 458.469 | 7.833.087 | 458.374 | 100 |
| 3P4 (4) | 7.833.101 | 458.337 | 7.833.111 | 458.412 | 75 |
| 3P5 (5) | 7.833.106 | 458.339 | 7.833.116 | 458.420 | 80 |
| 3P6 (6) | 7.833.117 | 458.229 | 7.833.109 | 458.376 | 75 |

En verde, el eje del muro de la alternativa.
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

## 3.2.3. Resultados

## 3.2.3.1. Resultados Sondajes

Las estratigrafías de los sondajes se resumen en el Cuadro 5.2.3.1-1, la descripción de cada horizonte (Hor.), se presenta en el Anexo 5-2. En este se incluyen la descripción dada por el equipo sondeador y la realizada por el géologo. A modo de ejemplo se presenta la descripción del sondaje 1A (E1S3) de la alternativa ALT1 en el Cuadro 5.2.3.1-2.

**CUADRO 3.2.3.1-1**
**RESUMEN DE ESTRATIGRAFÍAS DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA**

| Alt. | Son-daje | Total perforado (m) | Nº Hor. Sondea-dor | Nº Hor. Geoló-gicos | Asignación Geológica |
|---|---|---|---|---|---|
| ALT 1 | 1A | 35,3 | 3 | 3 | Entre 0,0-1,3: Relleno granular fluvial a fuvioaluvial de la llanura de inundación; Entre 1,3-34,75: Sucesión monótona de conglomerado continental grueso; De 1,4-35,5: Sucesión monótona de conglomerado polimíctico grueso, con granulometría muy regular, color gris, maciza, con matriz arenosa grisácea. **Formación Altos de Pica** |
| | 1B | 35,5 | 3 | 2 | Entre 0,0-1,4: Relleno granular fluvial a fluvioaluvial de la llanura de inundación; Entre 1,4-35,5: Sucesión monótona de conglomerado polimíctico grueso, con granulometría muy regular, color gris, maciza, con matriz arenosa grisácea. **Formación Altos de Pica** |
| | 1C | 35,3 | 7 | 3 | Entre 0,0-1,2: Relleno granular fluvial a fluvioaluvial de la llanura de inundación; Entre 1,2-8,95 Brecha arenisca brechosa rosada, maciza a estratificación poco definida, semiconsolidada; Entre 8,95-35,3: Secuencia litológicamente uniforme conglomerádica*). **Formación Altos de Pica** |
| ALT 2 | 2A | 45 | 4 | 3 | Entre 0,0-0,7: Relleno granular fluvial a fluvioaluvial de la llanura de inundación; Entre 0,7-9,8: Arenisca tobácea a igimbrítica, maciza, grisácea a rosado clara; Entre 9,8-45,0: Secuencia monótona conglomerádica, continental, maciza, clastosoportada. **Formación Altos de Pica** |
| | 2B | 35,4 | 5 | 3 | Entre 0,0-2,1: Relleno granular fluvial a fluvioaluvial de la llanura de inundación; Entre 2,1-15,5: Ignimbrita a brecha volcanodetrítica; Entre 15,5-35,4: Conglomerado polimíctico, torrencial, algo brechoso, color gris a levemente rosado, bien consolidado, denso. **Formación Altos de Pica** |
| | 2C | 38,3 | 3 | 5 | Entre 0,0-1,3: Relleno granular fluvial a fluvioaluvial de la llanura de inundación; Entre 1,3-6,7: Sólo se recuperaron ripios**) y gravas***) integradas por clastos; Entre 6,7-7,85: Secuencia maciza a pobremente estratificada de ignimbrita****); Entre 7,85-19,0: Conglomerado semi consolidado; 19,0-38,3: Areniscas medias a gruesas, macizas a pobremente estratificadas, semi consolidadas. **Formación Altos de Pica** |

## CUADRO 3.2.3.1-1
## RESUMEN DE ESTRATIGRAFÍAS DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

| Alt. | Son-daje | Total perforado (m) | Nº Hor. Sondea-dor | Nº Hor. Geoló-gicos | Asignación Geológica |
|---|---|---|---|---|---|
| ALT 3 | 3A | 30,1 | 8 | 3 | Entre 0,0-0,45: Relleno granular fluvial a fluvioaluvial de la llanura de inundación; Entre 0,45-3,5: Ignimbrita litológicamente uniforme, maciza, color rosada; Entre 3,5-30,1: Conglomerado polimíctico, torrencial, grisáceo a levemente rosado. **Formación Altos de Pica** |
| | 3B | 35 | 9 | 3 | Entre 0,0-6,65: Relleno granular fluvial a fluvioaluvial de la llanura de inundación; Entre 6,65-16,2: Conglomerado grueso, clastosoportado, macizo, color gris a rosado; Entre 16,2-35,0: Conglomerado grueso. **Formación Altos de Pica** |
| | 3C | 26,1 | 7 | 2 | Entre 0,0-1,2: Relleno granular fluvial a fluvioaluvial de la llanura de inundación; Entre 1,2-26,1: Sucesión monótona, uniforme de conglomerado macizo, color gris a rosado, consolidado a semi consolidado. **Formación Altos de Pica** |

*) Conglomerado: Roca que resulta de la consolidación o litificación de agregados compuestos por clastos entre 2 y 256 mm de diámetro, generalmente redondeados. Los clastos están ligados por la matriz, la que a su vez está ligada por cemento. Los agregados sueltos que por consolidación dan origen a conglomerados, son: gravillas, ripios y gravas..

**) Ripio: Agregado no consolidado o litificado formado por rodados de 64 a 256 mm: De su consolidación resulta el conglomerado grueso.

***) Grava:. Agregado no consolidado o litificado, formado por rodados de 4 a 64 mm. De su consolidación resulta el conglomerado fino.

****) Ignimbrita: Roca volcánica silícea, que conforma extensos mantos masivos y compactos, integrada por fragmentos líticos y fenocristales, en una matriz vítrea.

## CUADRO 3.2.3.1-2
## DESCRIPCIÓN SONDAJE 1A (E1S3) SITIO ALT1

| Horizonte | Profundidades límites (m) | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | 0,0-1,3 | Sólo se recuperó gravilla y arena muy gruesa, grisácea, integrada por clastos subangulosos a subredondeados, heterocomposicionales de 4 a 5 cms, densos, inalterado, resistentes.<br>Relleno granular fluvial a fluvioaluvial de la llanura de inundación de la quebrada Aroma: Qfca. |
| 2 | 1,3-34,75 | Sucesión monótona de conglomerado continental grueso, levemente clastosoportado, macizo, color gris levemente rosado; clastos con tamaño medio de 5 a 8 cms redondeados a subredondeados, heterocomposicionales, (andesitas, andesitas – basálticas, brechas, areniscas), densos, alta tenacidad, resistentes; matriz con aspecto brechoso o microbrechoso, integrada por clastos angulosos de 2 a 3 cm; cemento arcilloso a cinerítico.<br>De 27,40 – 27,50 m: Clasto de granodiorita de 11 cm, denso, muy resistente. De 1,30 – 5,30 m: Transición gradual en profundidad del nivel superior a conglomerado con mayor contenido de matriz arenosa o areno-limosa, que le |

## CUADRO 3.2.3.1-2
## DESCRIPCIÓN SONDAJE 1A (E1S3) SITIO ALT1

| Horizonte | Profundidades límites (m) | Descripción |
|---|---|---|
| | | otorga un carácter semiconsolidado, desagregable o friable, suelto, aspecto terroso, con baja recuperación. |
| 3 | 34,75-35,3 | Ignimbrita litológicamente muy uniforme, maciza a levemente estratificada, rosada, bien consolidada; tendencia a desagregarse con desarrollo de elementos discoidales.<br>Basamento rocoso asignado a la Formación Altos de Pica. |

Fuente: Elaboración Propia

Se realizaron en terreno los ensayos de la Lugeon y Lefranc según el tipo de material encontrado durante la perforación. En los Cuadros 5.2.3.1-3 y 5.2.3.1-4 se resumen los resultados de dichos ensayos. El detalle se encuentra disponible en el Anexo 5-3.

## CUADRO 3.2.3.1-3
## RESUMEN ENSAYOS LUGEON MEJORADO

| Alternativa | Nombre | Apodo Terreno | Tramo de Ensayo | Carga Máxima (kg/cm$^2$) | Caudal Admitido (L) |
|---|---|---|---|---|---|
| ALT1 | 1A | E1S3 | 20,30-25,30 | 7 | 34,0 |
| | | | 25,30-30,30 | 7 | 33,0 |
| | | | 30,20-35,50 | 7 | 49,0 |
| | 1B | E1S2 | 25,00-30,20 | 7 | 32,0 |
| | | | 30,20-35,50 | 7 | 29,0 |
| | 1C | E1S1 | 25,30-30,30 | 7 | 50,0 |
| | | | 30,30-35,30 | 7 | 31,0 |
| ALT2 | 2A | E2S3 | 30,50-35,30 | 5,5 | 58,0 |
| | | | 40,00-45,00 | 10 | 14,0 |
| | 2B | E2S2 | 15,40-20,40 | 7 | 66,0 |
| | | | 20,40-25,40 | 7 | 19,0 |
| | | | 25,40-30,40 | 7 | 35,0 |
| | | | 30,40-35,40 | 7 | 50,0 |
| | 2C | E2S1 | 33,30-38,30 | 10 | 0,0 |
| ALT3 | 3A | E3S3 | 20,20-25,20 | 10 | 5,0 |
| | | | 25,10-30,10 | 10 | 4,0 |
| | 3B | E3S2 | 16,20-21,20 | 7 | 10,0 |
| | | | 21,20-26,40 | 10 | 7,0 |
| | | | 26,40-31,40 | 10 | 4,0 |
| | | | 31,40-35,00 | 10 | 0,0 |
| | 3C | E3S1 | 6,10-11,10 | 5 | 32,0 |
| | | | 11,10-16,10 | 5 | 36,0 |
| | | | 16,10-21,10 | 7 | 11,0 |
| | | | 21,10-26,10 | 10 | 9,0 |

Fuente: Elaboración Propia

## CUADRO 3.2.3.1-4
## RESUMEN ENSAYOS LEFRANC-MANDEL

| Alternativa | Nombre | Sondaje | Nº ensayo | Tramo de Ensayo | Nivel de Agua en Sondaje (m) | | Carga Constante | Carga Variable |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Antes | Después | Gasto Constante (L/min) | Descenso en 60 min (cm) |
| ALT1 | 1C | E1S1 | 1 | 0,00-5,30 | 2,81 | 1,09 | 2.73 | 109 |
| | 1C | E1S1 | 2 | 5,30-10,30 | 2,85 | 1,59 | 2.40 | 159 |
| | 1C | E1S1 | 3 | 10,30-15,30 | 3,00 | 1,62 | 2.31 | 162 |
| | 1C | E1S1 | 4 | 15,30-20,30 | 2,32 | 1,65 | 2.22 | 165 |
| | 1C | E1S1 | 5 | 20,30-25,30 | 8,35 | 1,70 | 2.07 | 170 |
| | 1C | E1S1 | 6 | 25,30-30,30 | 5,73 | 1,94 | 2.22 | 199 |
| | 1B | E1S2 | 1 | 0,00-5,00 | 0,65 | 0,57 | 2.86 | 57 |
| | 1B | E1S2 | 2 | 5,00-10,00 | 0,43 | 0,61 | 2.61 | 61 |
| | 1B | E1S2 | 3 | 10,00-15,00 | 0,32 | 0,69 | 2.40 | 69 |
| | 1B | E1S2 | 4 | 15,00-20,00 | 0,95 | 0,70 | 2.22 | 70 |
| | 1B | E1S2 | 5 | 20,00-25,00 | 1,15 | 0,71 | 2.73 | 71 |
| | 1A | E1S3 | 1 | 0,00-5,30 | 0,43 | 0,48 | 2.50 | 48 |
| | 1A | E1S3 | 2 | 5,30-10,30 | 0,92 | 0,44 | 2.73 | 44 |
| | 1A | E1S3 | 3 | 10,30-15,30 | 1,43 | 1,63 | 4.29 | 163 |
| | 1A | E1S3 | 4 | 15,30-20,30 | 1,51 | 1,71 | 2.61 | 171 |
| ALT2 | 2C | E2S1 | 1 | 0,00-5,30 | 3,05 | 3,26 | 3.00 | 326 |
| | 2C | E2S1 | 2 | 5,30-10,30 | 1,38 | 3,25 | 3.53 | 325 |
| | 2C | E2S1 | 3 | 10,00-15,00 | 1,39 | 3,24 | 3.33 | 322 |
| | 2C | E2S1 | 4 | 15,00-20,00 | 1,40 | 1,05 | 0.46 | 105 |
| | 2B | E2S2 | 1 | 0,00-5,40 | 0,99 | 1,64 | 8.57 | 164 |
| | 2B | E2S2 | 2 | 5,40-10,40 | 1,03 | 1,76 | 7.50 | 176 |
| | 2B | E2S2 | 3 | 10,40-15,40 | 0,15 | 0,15 | 2.50 | 15 |
| ALT3 | 3A | E3S1 | 1 | 4,10-5,10 | 1,10 | 1,26 | 0.29 | 126 |
| | 3B | E3S2 | 1 | 4,30-5,40 | 1,65 | 1,20 | 0.35 | 120 |
| | 3B | E3S2 | 2 | 10,40-11,40 | 1,60 | 1,05 | 0.32 | 105 |
| | 3B | E3S2 | 3 | 15,20-16,20 | 1,80 | 1,32 | 0.57 | 132 |
| | 3C | E3S3 | 1 | 4,20-5,20 | 0,35 | 0,13 | 0.09 | 13 |
| | 3C | E3S3 | 2 | 5,20-10,00 | 1,30 | 0,35 | 0.13 | 35 |

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los resultados de los ensayos lefranc y lugeon se calcularon las permeabilidades de cada sondaje. Las permeabilidades promedio se presentan en el Cuadro 5.2.3.1-5. El detalle se presenta en el Anexo 5-8.

## CUADRO 3.2.3.1-5
## RESUMEN PERMEABILIDADES PROMEDIO

| Alternativa | Sondaje | Lefranc (m/s) | | Lugeon (m/s) |
|---|---|---|---|---|
| | | carga constante | carga variable | |
| ALT1 | 1A | 1,63E-06 | 7,54E-08 | 6,22E-07 |
| | 1B | 1,08E-05 | 3,84E-08 | 4,83E-07 |
| | 1C | 7,87E-06 | 4,94E-08 | 6,62E-07 |
| ALT2 | 2A | - | - | 6,02E-07 |
| | 2B | 2,54E-05 | 1,55E-07 | 6,95E-07 |
| | 2C | 4,18E-06 | 1,22E-07 | 0,00E+00 |
| ALT3 | 3A | 1,10E-06 | 2,81E-08 | 7,36E-08 |
| | 2B | 1,81E-06 | 1,98E-07 | 8,49E-08 |
| | 2C | 2,00E-06 | 4,16E-07 | 3,60E-07 |

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó la descripción petrográfica de tres sondajes. En el Cuadro 5.2.3.1-6 se resumen los resultados. En el Anexo 5-4 se incluye la información extendida.

## CUADRO 3.2.3.1-6
## RESUMEN PERMEABILIDADES PROMEDIO

| Sondaje | Código | Tramo | Fábrica | Tipo Cemento | Clasificación | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Textural | Composicional |
| 2C | 21791-3 | 23,5-23,9 | Granosoportada | Arcilla | Rudita Arenosa | Litarudita |
| 3A | 21792-3 | 14,4-14,7 | Matriz soportada | Hematita | Arenisca Rudacea Fangosa | Litarenita |
| 1B | 21792-4 | 21,95-22,25 | Granosoportada | Arcilla y Feldespato | Rudita Arenosa | Litarudita |

Fuente: Elaboración Propia

Las muestras obtenidas durante la perforación son ordenadas en cajas, desde la cota de suelo hasta la máxima profundidad, tal como se observa en la Figura 5.2.3.1-1. El registro fotográfico de los sondajes se presenta en el Anexo 5-5.

Durante la realización de los sondajes se lleva un registro de perforación, en el cual se indica la longitud de avance de cada carrera, la recuperación de los testigos y se calcula el RQD (Rock Quality Designation) que se define de la siguiente manera:

$$RQD = 100 \cdot \frac{\sum(L_{Trozos>10cm})}{L_{Carrera}}$$

Donde $L_{trozos>10cm}$ es la longitud de los trozos mayores a 10 cm (cm), y $L_{carrera}$ es la longitud total de la carrera (cm).

## FIGURA 3.2.3.1-1


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## CAJA 5 SONDAJE 1B




Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 5.2.3.1-7 se presenta el registro de perforación del sondaje 3B (S3E2), el resto de los registros se encuentran en el Anexo 5-6.

### CUADRO 3.2.3.1-7
### REGISTRO DE PERFORACIONES SONDAJE 3B

| Profundidad | | Longitud de la Carrera (cm) | Recuperación del Testigo (cm) | Longitud de los Testigos | | | | | | | RQD (%) | Descripción del Material Perforado Según Sondeador |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Desde | Hasta | | | Total | Trozos más de 10 cm | | | | | | | |
| 0,00 | 1,25 | 125 | 20 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 1,25 | 2,00 | 75 | 40 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 2,00 | 2,40 | 40 | 20 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 2,40 | 2,95 | 55 | 25 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 2,95 | 3,45 | 50 | 30 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 3,45 | 3,95 | 50 | 40 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 3,95 | 4,45 | 50 | 45 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 4,45 | 5,40 | 95 | 55 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 5,40 | 6,05 | 65 | 35 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 6,05 | 6,65 | 60 | 35 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 6,65 | 7,25 | 60 | 55 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 7,25 | 8,40 | 115 | 115 | 19 | 19 | | | | | | 16,5 | Conglomerado |
| 8,40 | 9,40 | 100 | 90 | 43 | 11 | 12 | 20 | | | | 43,0 | Conglomerado |
| 9,40 | 10,40 | 100 | 95 | 72 | 13 | 39 | 10 | 10 | | | 72,0 | Conglomerado |
| 10,40 | 11,40 | 100 | 95 | 30 | 18 | 12 | | | | | 30,0 | Conglomerado |

**CUADRO 3.2.3.1-7**
**REGISTRO DE PERFORACIONES SONDAJE 3B**

| Profundidad | | Longitud de la Carrera (cm) | Recuperación del Testigo (cm) | Longitud de los Testigos | | | | | | | RQD (%) | Descripción del Material Perforado Según Sondeador |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Desde | Hasta | | | Total | Trozos más de 10 cm | | | | | | | |
| 11,40 | 12,90 | 150 | 105 | 24 | 24 | | | | | | 16,0 | Conglomerado |
| 12,90 | 14,40 | 150 | 30 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 14,40 | 15,00 | 60 | 35 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 15,00 | 15,60 | 60 | 35 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 15,60 | 16,20 | 60 | 45 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 16,20 | 16,60 | 40 | 30 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 16,60 | 17,40 | 80 | 80 | 62 | 21 | 10 | 21 | | | | 65,0 | Conglomerado |
| 17,40 | 18,60 | 120 | 120 | 77 | 14 | 18 | 34 | 11 | | | 64,2 | Conglomerado |
| 18,60 | 19,80 | 120 | 120 | 101 | 24 | 15 | 13 | 26 | 11 | 12 | 84,2 | Conglomerado |
| 19,80 | 20,10 | 30 | 30 | 25 | 10 | 15 | | | | | 83,3 | Conglomerado |
| 20,10 | 21,20 | 110 | 105 | 50 | 22 | 14 | 14 | | | | 45,5 | Conglomerado |
| 21,20 | 22,40 | 120 | 120 | 85 | 10 | 10 | 12 | 35 | 18 | | 70,8 | Conglomerado |
| 22,40 | 23,40 | 100 | 100 | 41 | 30 | 11 | | | | | 41,0 | Conglomerado |
| 23,40 | 24,90 | 150 | 150 | 55 | 17 | 12 | 26 | | | | 36,7 | Conglomerado |
| 24,90 | 26,40 | 150 | 150 | 76 | 15 | 61 | | | | | 50,7 | Conglomerado |
| 26,40 | 26,40 | 60 | 60 | 45 | 14 | 14 | 17 | | | | 75,0 | Conglomerado |
| 26,40 | 27,90 | 150 | 95 | 11 | 11 | | | | | | 7,3 | Conglomerado |
| 27,90 | 29,40 | 150 | 150 | 102 | 41 | 17 | 10 | 10 | 10 | 14 | 68,0 | Conglomerado |
| 29,40 | 30,40 | 100 | 100 | 30 | 20 | 10 | | | | | 30,0 | Conglomerado |
| 30,40 | 30,55 | 15 | 15 | 11 | 11 | | | | | | 73,3 | Conglomerado |
| 30,55 | 31,40 | 85 | 85 | 37 | 11 | 10 | 16 | | | | 43,5 | Conglomerado |
| 31,40 | 32,40 | 100 | 100 | 50 | 15 | 13 | 22 | | | | 50,0 | Conglomerado |
| 32,40 | 33,,90 | 150 | 150 | 92 | 54 | 13 | 25 | | | | 61,3 | Conglomerado |
| 33,90 | 34,20 | 30 | 30 | | | | | | | | | Conglomerado |
| 34,20 | 35,00 | 80 | 80 | 38 | 23 | 15 | | | | | 47,5 | Conglomerado |

Fuente: Elaboración Propia

## 3.2.3.2. Resultados Calicatas

Las estratigrafías de las calicatas en las alternativas de muro, en los apoyos, en la zona de inundación y en los yacimientos se presentan en el Anexo 5-9. Se cuenta a demás con un registro fotográfico de las calicatas adjuntado en el Anexo 5-10.

Los resultados de los ensayos realizados a las calicatas en cada una de las alternativas y en los yacimientos se presentan en el Cuadro 5.2.3.2-1. El detalle de los ensayos se presenta en el Anexo 5-11.

## CUADRO 3.2.3.2-1
## RESULTADOS ENSAYOS

| Calicata | Hor (*) | Cota (m) | DMCH | Humedad Óptima | DMCS | Límite Líquido | Límite Plástico | Indica de Plasticidad | Clasificación USCS | Desgaste a los ángeles | Sales Solubles (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CA1 | H-1 | 0,0-2,0 | - | - | - | - | - | NP | SP | - | - |
| CA2 | H-2 | 1,0-2,0 | - | - | - | - | - | NP | SM | - | - |
| CA3 | H-2 | 0,6-2,0 | - | - | - | - | - | NP | SP | - | - |
| CA4 | H-1 | 1,3-2,0 | - | - | - | - | - | NP | SP | - | - |
| CA5 | H-2 | 0,3-2,0 | - | - | - | - | - | NP | SP | - | - |
| CA6 | H-1 | 0,0-2,0 | - | - | - | - | - | NP | GP | - | - |
| CA7 | H-2 | 0,3-2,0 | - | - | - | - | - | NP | SP-SM | - | - |
| CA8 | H-1 | 0,0-1,0 | - | - | - | - | - | NP | GP | - | - |
| CA9 | H-2 | 0,95-2,0 | - | - | - | - | - | NP | GW-GM | - | - |
| CA10 | H-2 | 1,3-2,0 | - | - | - | - | - | NP | SM | - | - |
| CA11 | H-3 | 0,6-2,0 | - | - | - | - | - | NP | SM | - | - |
| CA12 | H-1 | 0,0-1,1 | - | - | - | - | - | NP | SM | - | - |
| CA13 | H-1 | 0,0-2,0 | - | - | - | - | - | NP | GP | - | - |
| CA14 | H-2 | 0,0-1,0 | - | - | - | - | - | NP | GP | - | - |
| CA15 | H-2 | 0,6-2,0 | - | - | - | - | - | NP | SP-SM | - | - |
| CA16 | H-2 | 0,6-1,7 | - | - | - | - | - | NP | SP-GM | - | - |
| CA17 | H-1 | 0,0-1,5 | - | - | - | - | - | NP | SP | - | - |
| CA18 | H-1 | 0,0-2,5 | - | - | - | - | - | NP | GP-GM | - | - |
| CA19 | H-2 | 0,7-1,5 | - | - | - | 37 | 29 | 8 | ML | - | - |
| C1A | H-1 | 0,0-1,7 | - | - | - | - | - | NP | SW-SM | - | - |
| C1B | H-1 | 0,0-2,6 | - | - | - | - | - | NP | SW-SM | - | 1,138 |
| C1C | H-1 | 0,0-1,8 | - | - | - | - | - | NP | SW-SM | - | - |
| C1D | H-2 | 0,9-2,5 | 1,811 | 28 | 1,415 | 65 | 25,1 | 40 | SC | - | - |
| C2A | H-2 | 2,0-4,0 | - | - | - | - | - | NP | SM | - | - |
| C2B | H-1 | 0,0-1,5 | - | - | - | - | - | NP | GW | - | - |
| C2C | H-1 | 0,0-1,5 | - | - | - | - | - | NP | GP | - | - |
| C2D | H-1 | 0,0-1,7 | - | - | - | 34 | 20,1 | 14 | GP-GC | - | 0,952 |
| C3A | H-1 | 0,0-3,0 | - | - | - | - | - | NP | GW | - | - |
| C3B | H-1 | 0,0-1,1 | - | - | - | - | - | NP | GP | - | - |
| C3C | -- | - | - | - | - | - | - | NP | GP | - | - |
| C3D | H-1 | 0,0-3,5 | - | - | - | - | - | NP | GW | - | - |
| CC1 | H-1 | 0,0-6,0 | - | - | - | - | - | NP | GP-GM | - | - |
| CC2 | - | 4,0-6,0 | - | - | - | 37 | 28,8 | 8 | SM | - | - |
| CC3 | - | - | - | - | - | 65 | 36,2 | 29 | -- | - | - |

## CUADRO 3.2.3.2-1
## RESULTADOS ENSAYOS

| Calicata | Hor (*) | Cota (m) | DMCH | Humedad Óptima | DMCS | Límite Líquido | Límite Plástico | Indica de Plasticidad | Clasificación USCS | Desgaste a los ángeles | Sales Solubles (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CC4 | H-3 | 2,0-3,0 | 1,820 | 30 | 1,400 | 47 | 34,8 | 12 | SM | - | - |
| C11A (I1A) | H-1 | 0,0-2,0 | - | - | - | - | - | NP | GP | - | - |
| C11A (I1A) | H-2 | 2,0-4,0 | - | - | - | - | - | NP | GP | - | - |
| C11B (I1B) | H-1 | 0,0-3,5 | - | - | - | - | - | NP | SM | - | - |
| C11B (I1B) | H-2 | 3,5-3,7 | - | - | - | - | - | NP | SW-SM | - | - |
| C12A (I2A) | H-3 | 3,0-4,0 | - | - | - | - | - | NP | GP | - | - |
| C12B (I2B) | H-1 | 0,0-5,0 | 2,053 | 18,1 | 1,738 | 38 | 29,4 | 9 | SM | - | - |
| C12B (I2B) | H-2 | 5,0-6,0 | - | - | - | 33 | 27,2 | 6 | SM | - | - |
| C13A (I3A) | H-1 | 0,0-4,0 | - | - | - | - | - | NP | GP-GM | - | - |
| C13A (I3A) | H-2 | 4,0-5,0 | | | | 40 | 29,2 | 11 | ML | - | - |
| C13B (I3B) | H-1 | 0,0-4,0 | - | - | - | - | - | NP | GW-GM | - | - |
| C13B (I3B) | H-2 | 4,0-6,0 | | | | 34 | 23,3 | 11 | CL | - | - |
| CY1 | H-2 | 0,8-2,3 | - | - | - | - | - | NP | GW-GM | - | - |
| CY1 | H-1 | 2,6-3,0 | - | - | - | - | - | NP | GP | - | - |
| CY2 | H-1 | 0,0-2,0 | - | - | - | - | - | NP | SP-SM | - | - |
| CY2 | H-2 | 2,0-3,6 | - | - | - | - | - | NP | GP | 26 | |
| CY3 | H-3 | 4,0-4,5 | - | - | - | - | - | NP | GP-GM | - | - |
| CY3 | H-2 | 0,8-4,0 | - | - | - | - | - | NP | GW | - | - |
| CY4 | H-2 | 1,3-2,3 | - | - | - | - | - | NP | GW | 24 | - |
| CY5 | H-2 | 0,6-3,2 | - | - | - | 35 | 38,1 | 7 | ML | 25 | - |
| CY5 | H-3 | 3,2-4,1 | - | - | - | - | - | NP | SM | - | - |

(*)DMCH: Densidad Máxima Compacta Humeda gr/cm$^3$
(**)DMCS: Densidad Máxima Compacta Seca gr/cm$^3$

Fuente: Elaboración Propia

Además de los ensayos anteriores, se realizó un ensayo Triaxial a la calicata CC4, estrato H3 (2,0-3,0) y un ensayo de Corte Directo a la calicata I2B, estrato H1 (0,0-5,0). Los resultados se incluyen en el Anexo 5-11.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## 3.2.3.3. Resultados Perfiles de Refracción Sísmica

Los resultados de la interpretación de los perfiles sísmicos se pueden observar en el Anexo 5-7 Figuras 2 a 7 ALT1, Figuras 8 a 13 ALT2 y Figuras 14 a 19 ALT3. En dichas Figuras se muestran los gráficos tiempo-distancia que son el reflejo de las configuraciones utilizadas en terreno. Las secciones interpretadas muestran las capas o estratos calculados, en ellos se observan las velocidades reales de las ondas longitudinales calculadas con sus respectivos espesores. En el Cuadro 5.2.3.3-1 se muestra un resumen de estos resultados.

**CUADRO 3.2.3.3-1**
**RESUMEN DE RESULTADOS PERFILES SÍSMICOS**

| Perfil | | E 1er est (m) | Veloc (m/s) | E 2do est (m) | Veloc (m/s) | Prof 3er est (m) | Veloc (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ALT1 | 1P1 | 1 – 2 | 515 | 10 – 12 | 1680 | >12 – 13 | 3970 |
| | 1P2 | 2 – 3 | 440 | 5 – 7 | 2125 | >9 – 8 | 3000 |
| | 1P3 | 3 – 4 | 337 | 6 – 10 | 912 | >10 – 13 | 3815 |
| | 1P4 | 2 | 300 | 5 – 6 | 1470 | >7 – 8 | 3290 |
| | 1P5 | 2 – 3 | 687 | 7 – 8 | 2438 | >9 – 11 | 3330 |
| | 1P6 | 4 – 8 | 402 | >4 – 8 | 2200 | | |
| ALT2 | 2P1 | 2 – 4 | 800 | 8 – 13 | 1945 | >10 – 17 | 2825 |
| | 2P2 | 3 | 402 | 4 – 10 | 2000 | >7 – 13 | 2330 |
| | 2P3 | 1 – 2 | 600 | 6 | 2000 | >7 – 8 | 2500 |
| | 2P4 | 1 – 3 | 687 | 12 – 15 | 1670 | >15 – 16 | 4167 |
| | 2P5 | 3 – 4 | 515 | 11 – 13 | 2080 | >14 – 17 | 3225 |
| | 2P6 | 1 – 2 | 875 | 8 – 10 | 2565 | >10 – 11 | 3640 |
| ALT3 | 3P1 | 2 | 515 | 9 – 12 | 1250 | >11 – 14 | 2890 |
| | 3P2 | 2 – 4 | 800 | 10 – 11 | 1870 | >12 – 15 | 2820 |
| | 3P3 | 3 – 6 | 750 | 12 – 15 | 2410 | >18 | 4980 |
| | 3P4 | 2 – 4 | 750 | 7 – 9 | 1655 | >9 – 13 | 2850 |
| | 3P5 | 2 | 430 | 12 – 14 | 1172 | >14 – 16 | 3750 |
| | 3P6 | 3 | 337 | 11 | 912 | >14 | 3815 |

E = espesor est= estrato Veloc = velocidad Prof= profundidad

Fuente: Elaboración propia

Para caracterizar los materiales del subsuelo en cuanto a su calidad geotécnica se utilizó una aproximación a la información obtenida en el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, el Cuadro 5.2.3.3-2 muestra una relación entre velocidades de propagación de las ondas sísmicas longitudinales y su calidad geotécnica.

Las velocidades de las rocas pueden variar en un rango amplio, ésta dependencia está relacionada con los parámetros físicos en la cual se encuentra. En general las rocas fracturadas pueden presentar velocidades entre 1.500 m/s y cercanas a 3.000 m/s. Es posible que las rocas puedan presentar valores de velocidades muy inferiores (meteorización).


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## CUADRO 3.2.3.3-2
## CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DEL SUELO

| Vp m/seg | Tipo de Material |
|---|---|
| **250 - 700** | Suelo superficial, finos, arcillas y otros |
| **800 – 1.500** | Suelos consolidación media, arcillas, rocas muy fracturadas |
| **2.000 – 3.600** | Rocas fracturadas a rocas sanas |
| **----------** | Límite de penetración de la onda sísmica de acuerdo a la longitud del perfil sísmico |

Fuente: Elaboración propia.

Los materiales sedimentarios naturales como gravas u otros pueden también presentar un rango amplio de velocidades, las cuales están asociadas a las propiedades físicas en que se encuentran. Estas pueden variar aproximadamente entre 500 m/s a 2.700 m/s.

Las tres alternativas estudiadas se encuentran en gravas cementadas de origen volcánico y rocas metamórficas con diferentes grados de consolidación motivo por el cual presentan velocidades variables en espacios reducidos. El rango de velocidad de estos materiales varía entre 1.000 m/s a 2.600 m/s.

Velocidades mayores de 1.700 m/s representan rocas que mejoran con la profundidad, estas se pueden observar en la Alternativa ALT1 y ALT2.

El Perfil 6 de la sitio ALT3 presenta resultados confiables en velocidades y profundidad calculadas en el sector "este", no así en el sector oeste ya que la velocidad de la onda longitudinal no toca la roca de 3.815 m/s. Esto significa que el estrato rocoso se profundiza rápidamente hacia el oeste.

El sitio ALT1 es la que se presenta más favorable ya que la velocidad representativa de roca sana se encuentra en los primeros 5 perfiles, cuyas profundidades varían entre 5 y 12 metros. La única excepción son los resultados del Perfil 6 cuyos dos estratos y final presentan velocidades de 2.200 m/s la que correspondería a una roca alterada.

### 3.2.4. Análisis Crítico de Resultados

A partir de las muestras de los sondajes realizados a la fecha se puede realizar un análisis preliminar de la disposición de los materiales bajo la cota de terreno en los sitios de muro estudiados.

En general, existe relleno granular fluvial a fluvioaluvial en la llanura de inundación en el sector de los embalses proyectados entre los 0,0 y 6,5 metros de profundidad, luego se aprecian sucesiones monótonas de conglomerado grueso, continental y/o polimíctico, o ignimbrita litológicamente uniforme, maciza, color rosada, intercalados con gravas, arcillas y arenas lo que se puede atribuir a la antigua actividad volcánica del sector. Se le asigna al basamento rocoso la formación Altos de Pica.

Cabe indicar que se estima que los procedimientos mecánicos propios de la ejecución de cada uno de los 9 sondajes, que comprometieron depósitos sedimentarios granulares de tipo fluvial a fluvioaluvial que participan del relleno del fondo de la quebrada Aroma, habrían homogeneizado un conjunto o secuencias heterogéneas in situ, integradas por capas o


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

estratos alternantes; esta condición de perturbación o alteración, limitó la confiable determinación del carácter granulométrico, estratificación, relaciones de contacto y continuidad espacial de las señaladas secuencias.

Los resultados de los ensayos Lugeon y Lefranc indican que la permeabilidad bajo los muros es baja, entre los $10^{-5}$ y los $10^{-8}$ m/s, existiendo tramos con permeabilidad cero.

Aunque en el análisis geosísmico se establece la existencia de tres rangos de velocidades que se pueden atribuir a formaciones geológicas con diversos grados de consolidación, se puede afirmar que estos rasgos pueden asociarse a depositaciones sedimentarias de acuerdo a los antecedentes geológicos.

A partir de la superficie cuyas velocidades se encuentran entre 250 a 700 m/s aproximadamente pueden asociarse a materiales de depositación reciente, cuya característica principal es su gran permeabilidad, lo que concuerda con los resultados obtenidos en los ensayos lefranc y lugeon.

El segundo estrato cuyas velocidades fluctúan entre 900 a 2600 m/s también pueden asociarse a depositaciones sedimentarias con un mayor grado de consolidación y probablemente con un menor grado de permeabilidad, sus espesores se muestran bastante variable esto nos indicaría que no existe un nivel freático característico como se presenta habitualmente en cuencas sedimentarias.

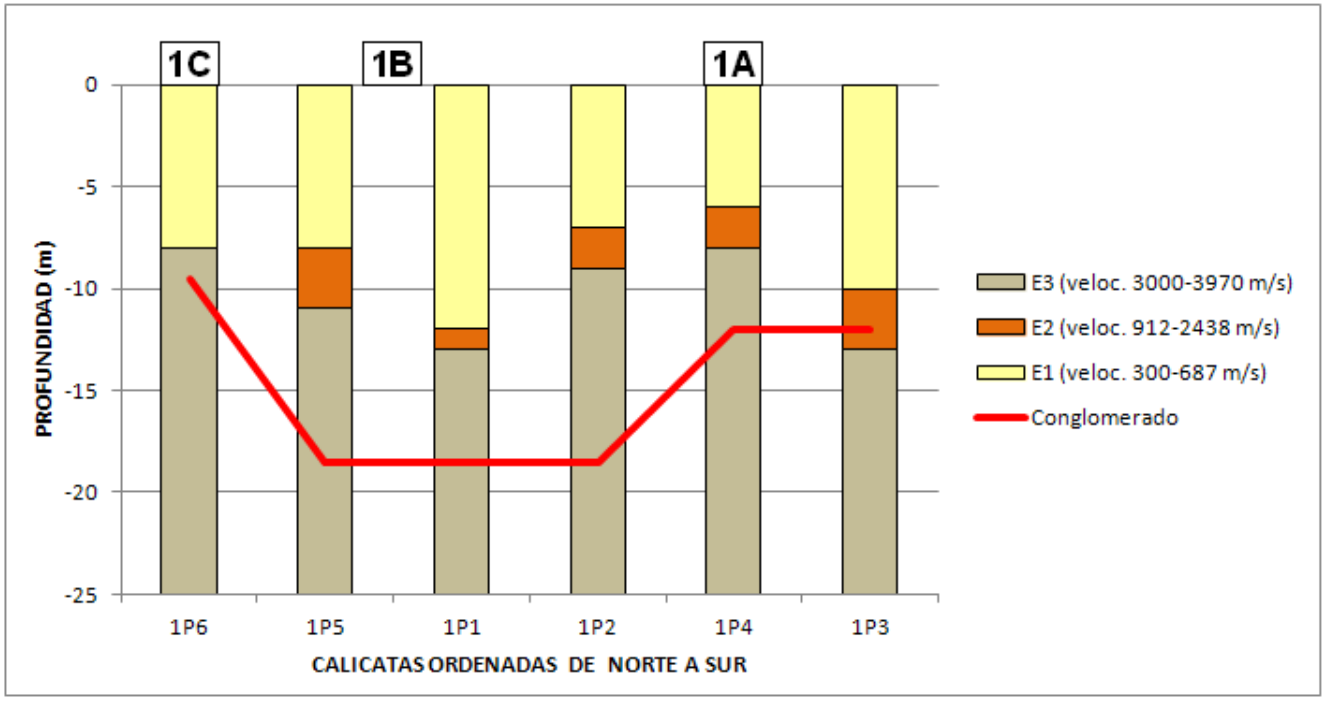
Los diversos grados de consolidación encontrados en los sondajes explicarían la amplitud del rango de velocidades. De la misma forma las formaciones encontradas en el tercer estrato (conglomerados cementados) corresponderían a depositaciones muy antiguas y probablemente presentan sectores impermeables. Las velocidades de estas formaciones pueden estar sobre los 2.700 m/s.

Para comparar la profundidad de la unidad rocosa obtenida a partir de la estimación de los perfiles geosísmicos y lo encontrado en los sondajes se generaron tres figuras, una por alternativa de muro, en el cual se incluyeron los estratos definidos por los perfiles y una curva que indica la ubicación de los conglomerados hallados en los sondajes.

En la Figura 5.2.4-1 se incluyen los perfiles 1P1 a 1P6 ordenados de norte a sur según su ubicación geográfica, además se incluye la ubicación de los sondajes 1A, 1B y 1C.

**FIGURA 3.2.4-1**

**COMPARACIÓN SONDAJES Y PERFILES GEOSÍSMICOS ALT1**

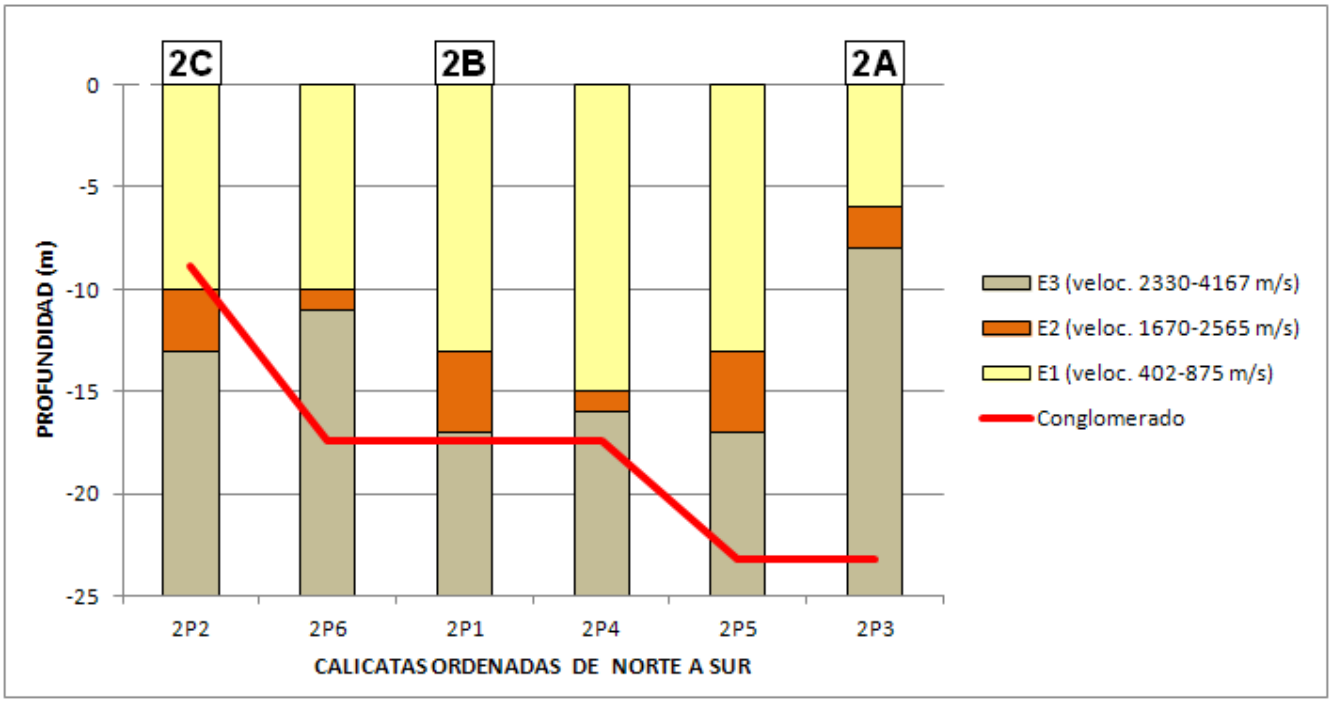



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5.2.4-1 se aprecia que las estimaciones en el perfil 1P6 y 1P3 son similares a lo encontrado en los sondajes 1C y 1A respectivamente, pero no así en el sondaje 1P1 y 1P5. Esta diferencia se atribuye a que la primera capa de conglomerados encontrados en el sondaje 1B estaba entre los 11,5 m y 16,75 m, lo que habría distorsionado los resultados de los perfiles ya que al encontrar una unidad rocosa no permitió la medición de capas más profundas. Por otro lado el tramo entre los 16,75 m y los 18,5 m en donde se encontró presencia de arcillas y gravas podría ser puntual y por tanto el perfil no es capaz de identificarlo.

En la Figura 5.2.4-2 se presentan los perfiles correspondientes al sitio ALT2.

## FIGURA 3.2.4-2
## COMPARACIÓN SONDAJES Y PERFILES GEOSÍSMICOS ALT2

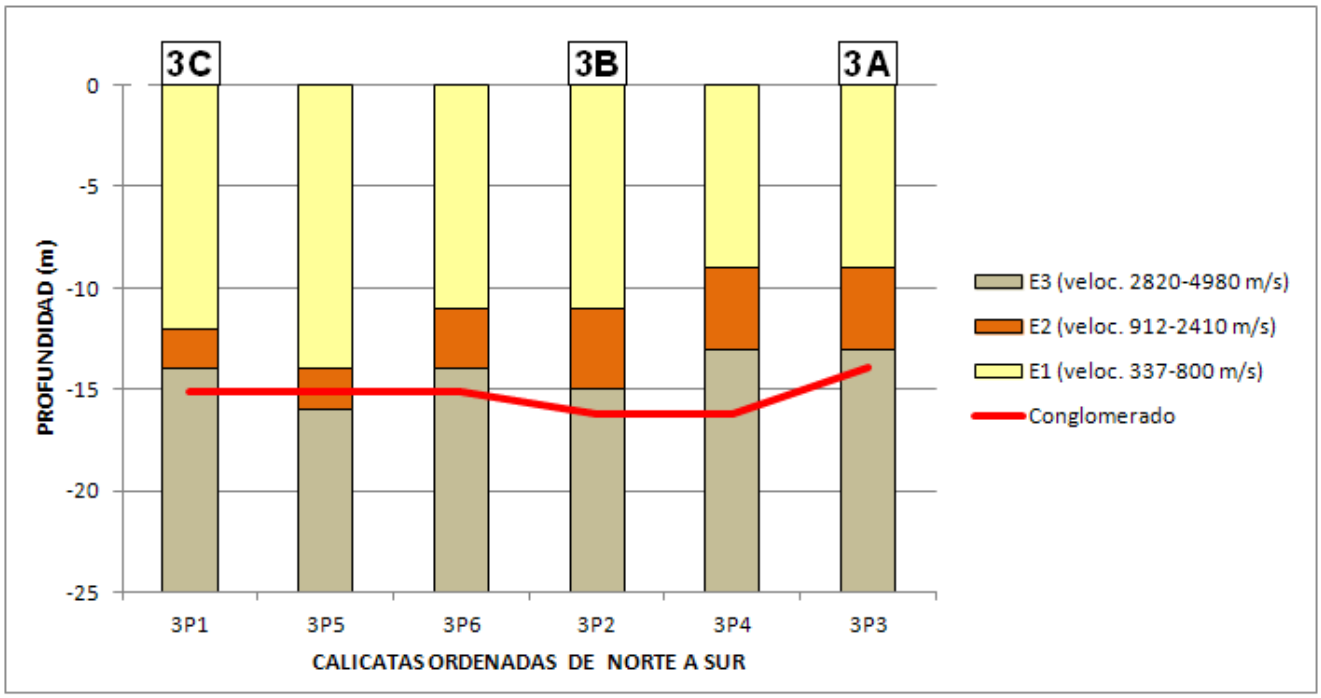



Fuente: Elaboración propia.

En el caso del sitio ALT2 la profundidad estimada en los perfiles 2P2 y 2P1 concuerda con las muestras obtenidas en terreno en los sondajes 2C y 2B. La profundidad estimada en el perfil 2B3 no concuerda con la profundidad donde el conglomerado compactado se presenta sin la intromisión de tramos de arcilla o grava. Cabe destacar que las primeras capas de material compactado aparecen a los 9,8 metros en el sondaje 2A lo que coincidiría con las estimaciones geofísicas.

Finalmente, en el sitio ALT3 los resultados de los perfiles geofísicos se ajustan adecuadamente a las muestras obtenidas en terreno, tal como se observa en la Figura 5.2.4-3.

**FIGURA 3.2.4-3**
**COMPARACIÓN SONDAJES Y PERFILES GEOSÍSMICOS ALT3**




Fuente: Elaboración propia.

Se observa que las estimaciones geofísicas concuerdan en la profundidad a la cual se aprecian las primeras capas macizas lo que permite dar una idea inicial a la cual se debería apoyar la infraestructura, sin embargo, no permite estimar tramos de menor compacidad (gravas o arcillas medianamente compactados) a mayor profundidad producto de la interferencia de estas capas superiores (conglomerados compactos).

De acuerdo a lo anterior siempre será más fiable la información rescatada por los sondajes para caracterizar la conformación del suelo bajo los posibles muros, la cual puede ser complementada con la información geofísica.

## *3.3. aforos*

En el presente acápite se incluyen los resultados de los aforos realizados en los canales ubicados en la quebrada de Aroma. Además, se entregan los resultados de los aforos realizados a lo largo del río Aroma, tarea que tuvo como fin estimar las pérdidas por infiltración existentes desde el sector de Misticsa hasta su llegada a la Pampa del Tamarugal. Las mediciones se realizaron en dos campañas de aforo. La primera campaña de aforos se realizó el día 24 de Enero de 2013 con la presencia del ingeniero especialista José Lagos Refheld, los ingenieros ayudantes Diego Mena y Cristóbal Mosqueira y los Ingenieros en recursos naturales Yuri Castillo y Valeska Cárcamo, sólo contemplo mediciones en los canales. En dicha ocasión se realizó el aforo de los canales Canal Ariquida 1 y el Canal Ariquilda 3 ya que el resto se encontrada sin uso. Para las mediciones se utilizó el método


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

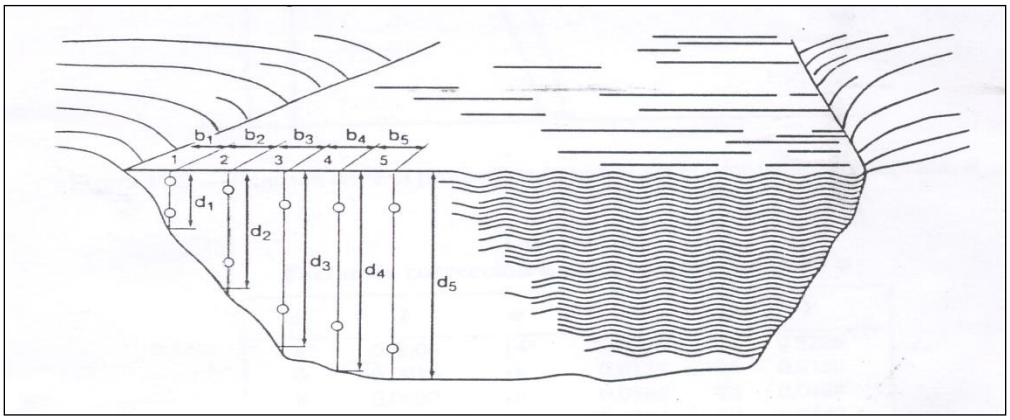
del flotador. En cada canal se realizó un aforo 10 metros aguas abajo de la bocatoma y 10 metros antes de la primera entrega.
Durante la segunda campaña, realizada entre el 15 y 16 de mayo, se contó con la presencia del hidromensor Elías González. En esta ocasión solo se pudo medir el canal Ariquilda 3 ya que el Ariquilda 1, aforado en la primera campaña, se encontraba con un taco en su toma lo que desviaba sus aguas hacia la quebrada. Adicionalmente, se realizó el aforo de 9 puntos a lo largo del río Aroma. Los aforos se hicieron por medio del método del molinete.
En total se realizaron 14 aforos, 4 en la primera campaña y diez en la segunda. De ellos, corresponden a aforos en canales, los realizados durante la primera campaña y uno de los realizados en la segunda campaña, es decir, se ejecutaron 5 aforos en canales. El resto de los aforos (9) se hicieron a lo largo del río Aroma.

### 3.3.1. Metodología

Existen variados métodos de medición, pero el de uso más común es el realizado con molinete, existiendo los montados en barras y los suspendidos por cable. El primero utilizado en ríos pequeños, esteros, vertientes o canales que pueden ser fácilmente vadeados a pie. El segundo es de uso general en todos los ríos.
Durante la primera campaña de aforos de los canales se utilizó el método del flotador, el cual consiste resolver la ecuación Q=v*A en donde Q es el caudal (m/s), v la velocidad del flujo (m/s) y A el área transversal de la sección del canal ($m^2$). Para ello se mide el tiempo de viaje que demora un flotador en recorrer una distancia determinada lo que permite calcular la velocidad del flujo, luego conocida su sección se obtiene el caudal el cual se corrige con factor de 0,7 que rectifica la velocidad por efecto del roce con las paredes del canal.
Para la segunda campaña de aforos, en donde se aforaron tanto canales como el río, se utilizo el método del molinete. El molinete, marca Gurley Modelo 622 AA, va montado sobre barras de 1,0 m con marcas cada 10 cm, estas barras son colocadas sobre lecho del fondo de la sección que se desee aforar. El molinete es deslizado a lo largo de la barra fijándolo en cada punto que se desee medir la velocidad. Especial importancia para la realización de estos aforos es la utilización solo de molinetes calibrados para evitar errores de medición.
Al realizar un aforo se debe tener en cuenta algunos requisitos para una medición fidedigna del caudal, la cual puede ser efectuada antes o durante la realización de la medición y que consiste en determinar el lugar y condiciones físicas que presenta la sección en el terreno y así por determinar el número de verticales, y el número de puntos por vertical a medir.
Las mediciones en punto debe durar a lo menos 60 s, o en su defecto para pequeñas velocidades debe registrarse un número de tres señales o el número equivalente de revoluciones a 3 señales, adaptándose a la respectiva tabla de velocidades.
La medición del caudal por el área velocidad se explica con referencia a la Figura 5.3.1-1. La profundidad del canal en la sección transversal se mide en verticales. Al mismo tiempo que se mide la profundidad, se hacen mediciones de la velocidad con el molinete en uno o más puntos de la vertical. La medición del ancho, de la profundidad y de la velocidad permite calcular el caudal correspondiente a cada segmento de la sección transversal. La suma de los caudales de estos segmentos representa el caudal total.

**FIGURA 3.3.1-1**

## SECCIÓN TRANSVERSAL DE CANAL EN EL QUE SE MUESTRA LA UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN




Utilizando la ecuación de continuidad, el caudal en una sección de área A, está dado por:

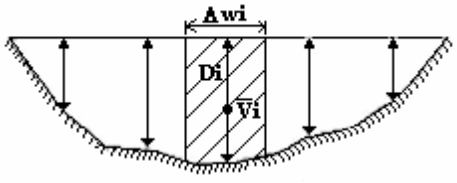
$$Q = \int_A \int V * dA$$

En donde la integral se aproxima sumando a los caudales incrementales calculados para cada medición i, i=1,2,…, n. de velocidad $V_i$ y profundidad $D_i$. Las mediciones representan valores promedio a lo largo de un ancho $\Delta\omega_i$ del cauce, tal como se muestra en la Figura 4.2-2, luego, el caudal se calcula como:

$$Q = \sum_1^N V_i * D_i * \Delta W_i$$

La velocidad $V_i$, en un punto, se mide con el molinete. El molinete registra el número de vueltas que impone el efecto dinámico del agua y se relaciona esta frecuencia de giro con la velocidad. El sensor de inducción magnética basa su funcionamiento en la ley de Faraday que dice que si un medio electroconductor se desplaza en un campo magnético, una tensión inducirá dicho conductor; por lo tanto, la tensión es proporcionalmente lineal a la velocidad del conductor eléctrico (corriente de agua).

**FIGURA 3.3.1-2**
**VISTA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL**







El método utilizado es el de los múltiples puntos, consiste en medir velocidades en muchas posiciones de la vertical para definir el perfil de velocidad bastante bien y así calcular

una velocidad media lo suficientemente exacta. El método es muy preciso, dependiendo del número de puntos de referencia medidos para el perfil.

### 3.3.2. Aforo en Canales

Durante la primera campaña sólo se pudieron realizar aforos en los canales de Ariquilda 1 y Ariquilda 3 ya que el resto se encontraban sin uso. Para las mediciones se utilizó el método del flotador. En cada canal se realizó un aforo 10 metros aguas abajo de la bocatoma y 10 metros antes de la primera entrega.

Las mediciones en ambos canales no presentaron variaciones en el tramo desde la bocatoma hasta la primera entrega, esto debido a que la distancia entre un punto al otro es cercana a los 202 m en Ariquilda 1 y de 185 m en Ariquilda 3. En el Cuadro 5.3.2-1 se presentan los parámetros y caudal medido en cada uno de los aforos.

## CUADRO 3.3.2-1
## MEDICIONES EN CANALES

| Canal | Aforo | Descripción | Altura (m) | Área (m) | v (m/s) | factor de corrección | v (m/s) corregida | Caudal Medido (L/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ariquilda 1 | 1 | 10 metros aguas debajo de toma | 0,171 | 0,05 | 1,5 | 0,7 | 1,05 | 55,1 |
| | 2 | Km. 0,192, 10 metros antes de primera entrega | 0,181 | 0,06 | 1,3 | 0,7 | 0,91 | 55,3 |
| Ariquilda 3 | 3 | 10 metros aguas debajo de toma | 0,168 | 0,06 | 1,6 | 0,7 | 1,12 | 63,5 |
| | 4 | Km. 0,175, 10 metros antes de primera entrega | 0,169 | 0,05 | 1,7 | 0,7 | 1,19 | 63,2 |

Fuente: Elaboración Propia

Durante la segunda campaña, realizada entre el 15 y 16 de mayo, solo se pudo medir el canal Ariquilda 3 (AF07) ya que el Ariquilda 1 (AF03) se encontraba con un taco en su toma que desviaba las aguas hacia la quebrada, dejando al canal totalmente seco, tal como se muestra en la Figura 5.3.2-1. Por su parte el canal Ariquilda 3 (Figura 5.3.2-1) fue aforado con el molinete dando un caudal en bocatoma de 81 L/s.

En el Cuadro 5.3.2-2 se muestra la ficha tipo que se utiliza para la medición de caudal con el método del molinete, con los resultados obtenidos en el aforo del canal Ariquilda 3. La sección transversal se dividió en 9 tramos de ancho variable y se midió en todos los tramos intermedios. No se miden los extremos. La Ficha se adjunta en el Anexo 5-12.

## CUADRO 3.3.2-2
## MEDICIONES EN CANALES

| Nº | Abscisa | Ancho de área de cálculo | Profundidad (m) | | Nº de Vueltas | Tiempo (Seg.) | Velocidad (m/s) | | Área ($m^2$) | Gasto ($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Total | Observac. | | | Observada | Corregida | | |
| 1 | 0,00 | 0,050 | 0,02 | | | | | | | |
| 2 | 0,10 | 0,100 | 0,07 | 0,04 | 20 | 61 | 0,212 | 0,212 | 0,0070 | 0,0015 |
| 3 | 0,20 | 0,150 | 0,18 | 0,11 | 15 | 63 | 0,149 | 0,149 | 0,0270 | 0,0040 |
| 4 | 0,40 | 0,200 | 0,18 | 0,11 | 38 | 60 | 0,427 | 0,427 | 0,0360 | 0,0154 |
| 5 | 0,60 | 0,200 | 0,20 | 0,12 | 49 | 60 | 0,555 | 0,555 | 0,0400 | 0,0222 |
| 6 | 0,80 | 0,200 | 0,20 | 0,12 | 46 | 59 | 0,529 | 0,529 | 0,0400 | 0,0212 |
| 7 | 1,00 | 0,150 | 0,20 | 0,12 | 40 | 61 | 0,442 | 0,442 | 0,0300 | 0,0133 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 1,10 | 0,100 | 0,20 | 0,12 | 18 | 60 | 0,193 | 0,193 | 0,0200 | 0,0039 |
| 9 | 1,20 | 0,050 | 0,02 | | | | | | | |
| | | | | | | | | Total | 0,200 | 0,081 |

Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 3.3.2-1**
**CANAL ARIQUILDA 1**



Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 3.3.2-2**
**CANAL ARIQUILDA 3**





Fuente: Elaboración Propia

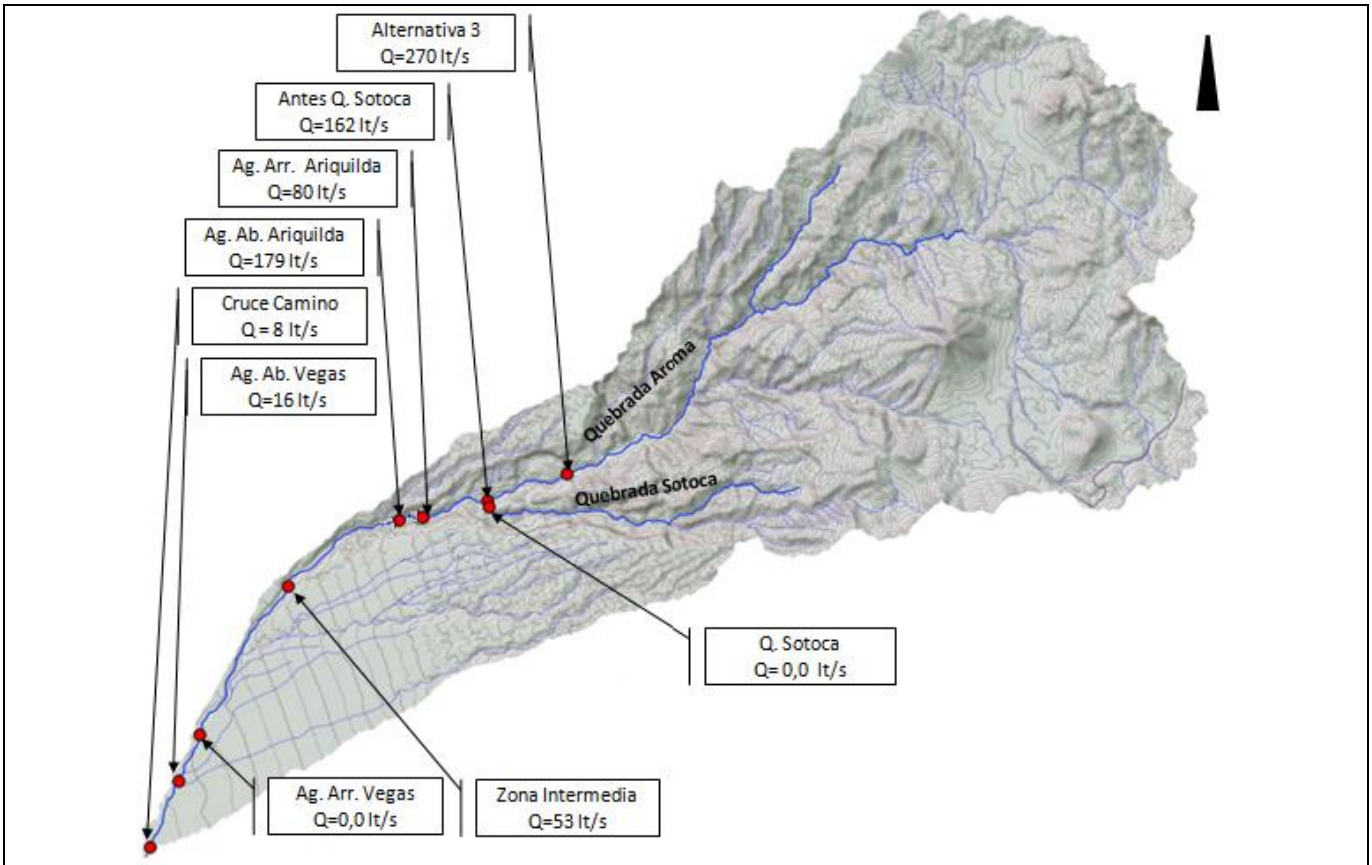
### 3.3.3. Aforos en Río Aroma

Los aforos en el río Aroma fueron realizados con el fin de estimar las pérdidas de agua ocasionadas por la infiltración de esta hacia la napa o bien por el efecto de la evaporación. Estas estimaciones se utilizaran para la generación del Modelo de Simulación del Embalse.
Para ello se definieron puntos de control a lo largo del tramo de interés del estudio desde el sector de Misticsa hasta su llegada a la Pampa del Tamarugal. En total se definieron 9 puntos de control de los cuales 2 no pudieron ser aforados debido a que no había flujo de agua.
Estos puntos de control no aforados fueron la Quebrada de Sotoca antes de la junta con el río Aroma y aguas arriba de las Vegas que existen en el sector de Curaña donde el flujo superficial desaparece. De todas formas se dejo constancia de la observación ya que son datos relevantes.

#### 3.3.3.1. Ubicación de Aforos

En la Figura 5.3.3.1-1 se presenta un mapa con la ubicación de los puntos aforados en el río Aroma acompañado de sus coordenadas, ubicación y descripción.

**FIGURA 3.3.3.1-1**
**UBICACIÓN DE AFOROS EN RÍO AROMA**




| Orden | Aforo | Ubicación | Descripción | Coord. Norte | Coord. Este |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | AF01 | Zona embalse alternativa 3 | Sección rustica, escurrimiento normal | 7.833.746 | 459.178 |
| 2 | AF04 | Antes Quebrada Sotoca | Sección rustica, escurrimiento normal | 7.831.564 | 453.049 |
| 3 | AF05 | Quebrada de Sotoca | Quebrada sin flujo superficial | 7831175 | 453.130 |
| 4 | AF02 | Aguas arriba Ariquilda | Sección rustica, escurrimiento normal | 7.830.383 | 448.021 |
| 5 | AF06 | Aguas Abajo Ariquilda | Bocatoma con taco, canal seco | 7.830.106 | 446.106 |
| 6 | AF11 | Zona intermedia | Sección rustica, escurrimiento normal | 7.824.951 | 437.532 |
| 7 | AF08 | Antes Arriba Vegas Curaña | Río sin flujo superficial | 7.813.482 | 430.685 |
| 8 | AF09 | Aguas abajo Vegas Curaña | Sección rustica, escurrimiento normal | 7.809.895 | 429.100 |
| 9 | AF10 | Cruce Camino | Sección rustica, escurrimiento normal | 7.804.790 | 426.952 |

Fuente: Elaboración Propia, a partir de Quantum GIS.

## 3.3.3.2. Caudales Medidos

Para las mediciones realizadas en terreno se confeccionó una ficha de AFORO TERRENO, en la cual se identifica el canal o río, ubicación, descripción, fecha, coordenadas, abscisas, profundidad total, profundidad de observación, número de vueltas y tiempo. Esta ficha se

incluye en el Anexo 5-12. Además en el Anexo 5-13 se incluye el registro fotográfico de los puntos de aforo. Los resultados se resumen a continuación en el Cuadro 5.3.3.2-1.

**CUADRO 3.3.3.2-1**
**RESUMEN RESULTADOS DE AFOROS**

| Orden | Aforo | Coord. Norte | Coord. Este | Caudal (L/s) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | AF01 | 7.833.746 | 459.178 | 270 |
| 2 | AF04 | 7.831.564 | 453.049 | 162 |
| 3 | AF05 | 7831175 | 453.130 | 0 |
| 4 | AF02 | 7.830.383 | 448.021 | 80 |
| 5 | AF06 | 7.830.106 | 446.106 | 179 |
| 6 | AF11 | 7.824.951 | 437.532 | 53 |
| 7 | AF08 | 7.813.482 | 430.685 | 0 |
| 8 | AF09 | 7.809.895 | 429.100 | 16 |
| 9 | AF10 | 7.804.790 | 426.952 | 8 |

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar, el caudal medido en el sector de embalse (AF01) es de 270 L/s. Luego en el punto de medición AF04 es caudal medido es de 162 L/s lo que implica una pérdida de 108 L/s en el tramo de 6,45 km, es decir, existe una tasa de pérdida, asumida como infiltración, de 16,7 L/s/Km.

El aforo AF05, que considera el aporte de recursos de la quebrada de Sotoca es nulo al menos superficialmente, ya que en el punto de medición AF06 el caudal es de 179 L/s lo que se relacionaría a un aporte del acuífero al caudal de río Aroma. En el aforo AF02, ubicado entre el AF04 y AF06, se midieron 80 L/s lo que se tendría que corroborar por la gran diferencia de caudal entre este aforo y el A06 que está a sólo 2 km.

El aforo AF11 se obtuvo un caudal de 53 L/s. Si se considera que el agua captada en el canal Ariquilda 3 es totalmente consumida en riego, el flujo aguas abajo de dicha toma sería cercano a los 97 L/s (AF06-Caudal Canal Ariquilda 3 = 179 L/s – 81 L/s). Es decir, la tasa de pérdida por infiltración entre el punto inmediatamente después de la toma del canal Ariquilda 3 y el punto de aforo AF11, lo que correspondería a 10 Km, sería de 4,4 L/s/km.

Respecto a las Vegas en Curaña, se observó que hasta 1,5 km aguas arriba de la ubicación el cauce se encontraba totalmente seco. El agua aflora en distintos tramos en el interior de la vega en pequeños pozos, para terminar aflorando totalmente a unos 200 metros antes del Aforo AF09 en donde se midieron 16 L/s, caudal muy inferior a los 270 L/s medidos en el sector de embalses, lo que indica una pérdida cercana al 95% del caudal.

En las fotografías siguientes (Figura 5.3.3.2-1) se observa las secciones representativas de las mediciones de aforos.

**FIGURA 3.3.3.2-1**
**RESUMEN RESULTADOS DE AFOROS**

| ORDEN 1; SECCIÓN AFORO AF01; Q=270 L/s | ORDEN 2; SECCIÓN AFORO AF04; Q=162 L/s |
|---|---|

## FIGURA 3.3.3.2-1
## RESUMEN RESULTADOS DE AFOROS



**ORDEN 3; SECCIÓN AFORO AF05; Q=0 L/s**



**ORDEN 4; SECCIÓN AFORO AF2; Q=80 L/s**



**ORDEN 5; SECCIÓN AFORO AF06; Q=170 L/s**

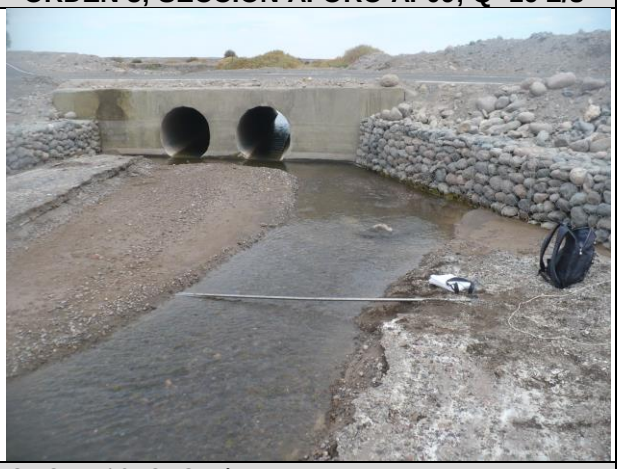


**ORDEN 6; SECCIÓN AFORO AF11; Q=53 L/s**





**FIGURA 3.3.3.2-1**
**RESUMEN RESULTADOS DE AFOROS**

| ORDEN 7; SECCIÓN AFORO AF08; Q=0 L/s | ORDEN 8; SECCIÓN AFORO AF09; Q=16 L/s |
|---|---|
|  |  |
| **ORDEN 9; SECCIÓN AFORO AF10; Q=8 L/s** | |
|  | |

Fuente: Elaboración Propia

# 6. ESTUDIOs básicos

## *6.1. estudio geológico*

El presente capítulo expone los resultados de un breve reconocimiento geológico de los terrenos comprometidos en el "Estudio de Prefactibilidad Proyecto Construcción Embalse Pintanane" (*en adelante*: PCEP), emplazado en un segmentos de la Quebrada de Aroma, ubicado en la zona prealtiplánica de la comuna de Huara, Región de Tarapacá. Ello, en el

marco de un estudio asignado por la Comisión Nacional de Riego, del Ministerio de Agricultura.
En su momento, estudios previos correspondientes a la Etapa 2 del PCEP sustentados, muy principalmente, en consideraciones morfológicas e hidrológicas, derivaron en la identificación de 3 sitios alternativos para el emplazamiento de sendas presas y sus respectivas estructuras anexas, cuyas ubicaciones se disponen a lo largo de un segmento de 750 km de la Quebrada de Aroma.
El Capítulo 3 del Volumen 1 del presente proyecto, concluyó con la proposición final de 3 sitios alternativos para el emplazamiento de las respectivas presas, denominados ALT 1, ALT 2 y ALT 3, en Plano GEO-PTN-02.
Preliminarmente, para su materialización se consideró una presa con una altura de 40 m y una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 15 a 20 millones de $m^3$ de agua.
Conforme a la programación de actividades impuestas por el Mandante, el contenido del presente estudio, incluye información morfogeológica, estructural, geotécnica y de riesgos geológicos, destinada a apoyar los estudios de prefactibilidad involucrados en la selección final del tipo de presas y correspondientes obras anexas.
Los reconocimientos directos de los terrenos comprometidos en el emplazamiento de los 3 sitios alternativos de presas vigentes y sus correspondientes obras anexas, se realizaron entre los días 27 y 29 de agosto del año 2013; en ella también participó el Constructor Civil de la consultora ARRAU Ingeniería, EIRL, Sr. Carlos Torres B.
La representación cartográfica de la información geológica se realizó en un plano escala 1:1.000.m provisto de curvas de nivel dispuestas a intervalos de 2 m, correspondiente a la Plano GEO-PTN-02. Incluye las secciones transversales de cada una de los ejes correspondientes a los 3 ejes de presas, objeto de análisis.
Adicionalmente, se dispuso de un set de fotografías color, escala 1:15.000 del segmento de la Quebrada de Aroma objeto de estudio, tomadas el presente año por GEOINGENIERIA y los registros estratigráficos de 9 sondajes perforados por Sondajes ARAOS a lo largo de los 3 ejes alternativos de presas, indicados en la Plano GEO-PTN-02; cada alternativa se designa con el dígito correspondiente 1, 2 y 3, mientras que la letra que lo sigue corresponde a la ubicación espacial del sondaje; A, corresponde al estribo izquierdo, B al ubicado en el centro de la llanura de inundación y C al estribo derecho.
Por su parte, la principal base referencial de respaldo geológico regional de la zona objeto del estudio, corresponde a un levantamiento preliminar es escala 1: 10:0000 efectuado, ***Hauser***, (2013). La base referencial de apoyo correspondió a SERNAGEOMIN, (2001), ***Pacci*** et al (1969), ***Farías*** (2003) y ***Farias*** et al (2005), ***Garcia*** et al 2005) y ***Letelier*** (2013).

### 6.1.1. Procesos de Remoción en Masa

## 6.1.1.1. Consideraciones Previas

Durante la fase de revisión de la información geológica referencial disponible de los terrenos involucrado en el presente estudio, se dispuso de un reciente documento elaborado por ***Letelier*** (2013), referido a una investigación morfogeológica de una mega remoción en masa, reconocida en torno a un segmento de la vertiente Norte o derecha de la Quebrada de Aroma,

involucrando parte de los materiales (suelos y rocas) que participan de los sitios alternativos para el emplazamiento de la presa del PCEP.

Experiencias prácticas demuestran que, en nuestros profundos y estrechas quebradas prealtiplánicas, las mega - remociones en masa, enmarcadas en la categorización de deslizamientos multirotacionales[16] constituyen riesgos geológicos de origen natural, que deben tenerse muy en cuenta durante los análisis involucrados tanto en la conceptualización de la disposición espacial inicial de obras, como en los posteriores estudios de prefactibilidad de variados proyectos civiles (viales, irrigación, mineros).

En general, se trata de fenómenos que suelen tener un carácter puntual y localizado, cuya fuerza actuante en sus desencadenamientos, corresponde a movimientos gravitacionales descendentes, relativamente rápidos de masa de suelos o rocas o sus respetivas mezclas; tienen lugar a lo largo de una o varias superficies muy bien definidas de roturas, que son visibles o que pueden ser inferidas razonablemente o bien corresponder a una franja relativamente estrecha.

Al respecto, importa consignar que, en general, la percepción del riesgo de este tipo de procesos y sus correspondientes reactivaciones durante la vida operativa de las grandes obras civiles, es bastante baja en comparación con aquellas vinculadas a actividad volcánica, sísmica e inundaciones. Esta singularidad está asociada al compromiso de procesos geológicos que, recurrentemente, afectan a la superficie terrestre, formando parte de la evolución natural del paisaje, en la búsqueda de su equilibrio final. Consiguientemente, a escala humana, parte importante de los movimientos de remociones en masa o laderas constituyen fenómenos imperceptibles.

A nivel mundial, la habitual afectación de terrenos despoblados y de difícil acceso, con bajos impactos sobre vidas humanas y sociedad, excluye su calificación como procesos espectaculares y catastróficos; ello determina infravaloraciones de su real importancia.

Uno de los aspectos que diferencia a las remociones en masa de otros procesos dinámicos naturales, que también suponen riesgos para las actividades humanas, es que, mediante la información aportada por estudios especializados competentes, pueden ser confiablemente previsibles y, por lo tanto, se pueden evitar o eliminar sus efectos, (al contrario de lo que ocurre con los terremotos y actividad volcánica). Sea como fuere, interesa establecer que las predicciones científicas sobre riesgos geológicos suelen contener muchos elementos de incertidumbre y, normalmente, se expresan en términos probabilísticos. En todos los casos, las mayores limitaciones suelen comprometer la confiabilidad de estimaciones referidas al alcance o afectación espacial y recurrencias de las remociones.

En estos casos, los procedimientos de control o mitigación de riesgos, se vinculan a la efectiva aplicación de procedimientos:

- No estructurales: Basados en la preparación de mapas de peligrosidad o susceptibilidad, sustentados en la determinaciones de zonas homogéneas; básicamente, incluyen la identificación, delimitación y categorización de

[16] La rotación múltiple ocurre cuando, al interior de la masa movilizada (suelos y rocas) se desarrollan varios deslizamientos menores que van englobándose sucesivamente de acuerdo a superficies de rotura curvas


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

los terrenos destinadas a otorgarles usos compatibles con diversos niveles de riesgos y,

- Estructurales: Incluyen la instalación de elementos de control y estabilización: ejecución de drenajes, colocación de pernos de anclajes, mallas metálicas, muros de retención, etc.

En las zonas susceptibles al desarrollo de reactivaciones de procesos de regiones en masa, el que un movimiento pueda tener lugar o no depende de un conjunto de factores externos que limitan la determinación del momento cuando ocurrirá.
Múltiples experiencias a nivel mundial, han permitido establecer confiables correlaciones en episodios pluviales de intensidad extrema y la ocurrencia o desencadenamiento de voluminosos procesos de remociones en masa.
Para la zona objeto de estudio, se carece de registros sistemáticos históricos de precipitaciones y su correlación con la ocurrencia local de procesos de remociones en masa.
Se asume que un paisaje entra en equilibrio dinámico, cuando la razón tasa de deformación / tasa de erosión, es constante durante un largo intervalo de tiempo.
El agua es el principal agente desencadenante de variados tipos de remociones en masa. Su papel desestabilizador, como consecuencia de la disminución de la resistencia y la creación de presiones intersticiales a que da lugar su presencia, está presente en todo tipo de vertientes de nuestros profundos y estrechos valles prealtiplánicos. La asociación entre ocurrencia de remociones en masa y periodos lluviosos es ampliamente conocida.
Existen algunas aproximaciones para acotar el momento en que puedan tener lugar los movimientos de remoción en masa, entre ellos. Métodos basados en la correlación directa con lluvias y métodos basados en el registro y análisis de las observaciones de movimientos; esto último apoyado en la constatación que las roturas suelen estar precedidas por deformaciones premonitorias.
En un marco climático de hiperaridéz como la zona objeto de estudio, la preservación de los rasgos morfológicos de los terrenos involucrados en las mega remociones identificadas, responde a escasa actividad erosiva, controlada por un ambiente con bajísimas tasas de precipitación.
Mientras tanto, los factores desencadenantes involucran el carácter climático, actividad erosiva y sismicidad, sin desatender incidencia puntual de acciones antrópicas, asociadas a actuaciones humanas en situación de provocar cambios en la geometría y pendientes de los terrenos, modificaciones hidrogeológicas y aplicación de fuerzas externas.
La mejor estrategia para reducir los impactos de remociones en masa del tipo deslizamientos es la prevención, que demanda de la adecuada percepción de la existencia de fenómenos peligrosos, rigurosa evaluación de la peligrosidad, exclusión de ocupación o uso de terrenos sometidos a elevados niveles de riesgo y oportuna adopción de medidas para la mitigación de los efectos.
Habitualmente, la determinación de la peligrosidad potencial asociada a la reactivación de mega remociones, conlleva la predicción espacial y temporal de la ocurrencia de los procesos, es decir, debe ser delimitada la zona sometida a potenciales riesgos por movimientos del terreno y, en la medida de lo posible, definir cuándo ellos puedan ocurrir.

Los factores de incertidumbre y complejidad de las predicciones temporales, suelen centrar la atención en la determinación de potenciales zonas que presenten mayor o menor posibilidad de desarrollar movimientos, definidos en función del análisis de los factores condicionantes y del confiable reconocimiento de activos movimientos históricos o contemporáneos. En este último caso, la observación e instrumentación juegan un importante rol en la determinación del conocimiento y comportamiento dinámico del terreno sujeto a movimiento; en algunos sectores críticos, donde el terreno sometido a riesgo constituye el soporte de las excavaciones, fundaciones y operaciones de las obras, se trata de prácticas obligatorias, en la evaluación de proyectos de ingeniería civil.

### 6.1.1.2. Ocurrencia y Características de Mega Remociones, Ambientes Montañosos del Norte Grande

Se ha establecido que la zona prealtiplánica y francamente altiplánica del extremo Norte de nuestro país, (Regiones de Arica – Parinacota, Tarapacá y Atacama), es donde las remociones en masa alcanzan mayor desarrollo.
La estabilidad de las empinadas laderas montañosas y vertientes de numerosas profundas y estrechas quebradas, está condicionada por la acción simultánea de una serie de factores. Físicamente, los movimientos se producen como resultado de desequilibrios parciales existentes entre las fuerzas que actúan sobre un volumen del terreno. Los factores que influyen en la estabilidad de las laderas incluyen: factores internos y externos.
Los factores internos o intrínsicos condicionan las diferentes tipologías, mecanismos y modelos de ruptura; incluyen la litología, textura (granulometría, grado de litificación o cementación, consolidación y espesor de los materiales), junto a parámetros geomecánicos (densidad, deformabilidad, resistencia, cohesión) y estructurales relativos a la presencia y desarrollo de nítidos y bien desarrollados planos de estratificación y debilidad (diaclasas, fracturas y fallas), además de las características morfológicas, como las pendientes de laderas de cerros, presencia de cordones montañosos y flancos de quebradas y su disposición espacial respecto de discontinuidades geológicas mayores (contactos, discordancias y fallas) y sus respectivas orientaciones.
Por su parte, los factores externos actúan sobre los materiales y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando o desencadenando las roturas debido a las variaciones que ejercen en el estado de equilibrio preexistente en aquellas; al respecto, destacan la infiltración de aguas de escurrimiento superficial, las vibraciones inducidas por actividad sísmica y las actividades antrópicas (realización de voluminosas excavaciones).
Conforme a ello, una de las facetas que influyen en la frecuencia y extensión de los movimientos de remociones en masa, es que *pueden ser desencadenados o gatillados por actividades humanas*. Este carácter impone la necesidad de otorgarle a los procesos de remociones en masa máxima atención en la evaluación de proyectos de desarrollo vial, irrigación y mineros, que involucren importantes modificaciones en las condiciones del medio físico natural (excavaciones de gran volumen); ello, principalmente, si comprometen terrenos ya desestabilizados o sometidos a movimientos ocurridos en el pasado geológico reciente (Holoceno: 10 a 12 mil años ante del presente), aunque actualmente se consideren inactivos.

## 6.1.1.3. Mega Remociones en Masa en Zona Objeto de Estudio

La revisión y análisis de imágenes satelitales disponibles en Google Earth e información referencial de los terrenos que, en torno al segmento de la Quebrada de Aroma, participan del entorno de la zona objeto del presente estudio, complementadas con los antecedentes obtenidos a partir del reciente reconocimiento directo del terreno local, permitieron confirmar la presencia y delimitación de 2 voluminosos cuerpos o masas movilizadas, definidas por ***Letelier*** (2013), denominadas en el presente estudio como "Mega Remociones en Masa Aroma Norte y Sur"; asignadas como ***MrAN*** y ***MrAS***, respectivamente, su representación cartográfica se consigna en nuestra Figura 1 del Plano GEO-PTN-02. Importa establecer que el término "mega remociones" se ha aplicado a masas o cuerpos cuyos volúmenes de materiales movilizadas (rocas y suelos) superan 1 $km^3$.

Esencialmente, ambas remociones comprometen materiales que, en su momento, durante sus respectivos desplazamientos, derramaron de acuerdo a trayectorias opuestas, hacia el fondo del primitivo cauce de la Quebrada de Aroma, bloqueando temporalmente su escurrimiento superficial; a partir de aguas arriba del sitio correspondiente a la ALT1, el consiguiente desarrollo temporal de activa depositación en un ambiente con circulación restringida, favoreció la posterior configuración de amplias terrazas marginales de tipo lacustre, (Ver depósitos lacustres en Acápite 1.3 correspondiente a: "Marco geológico local".

En su conjunto, configuran sendos rasgos elongados provistos de un eje mayor E – O; la expresión superficial de la ***MrAN*** posee un largo de aproximadamente 3.100 m y ancho medio de 2.150 m. Considerando para la masa movilizada un espesor medio de 150 m, se obtiene un volumen total de aproximadamente 1,7 $km^3$; mientras tanto, la masa movilizada de la ***MrAS*** compromete una franja de aproximadamente 3.000 m de largo con un ancho medio de 680 m; asignando un espesor medio de 145 m para la masa movilizada, se obtiene para la ***MrAS*** en volumen de aproximadamente 1,1 $km^3$.

En su sección superior, la Mega Remoción en Masa Aroma Norte, ***MrAN*** en Figura 6.1.1.3-1 y Plano GEO-PTN-02, desarrolla un coronamiento semi circular cuyo plano de ruptura configura un empinado escarpe de aproximadamente 145 a 150 m de altura, que expone una secuencia sedimentaria muy bien estratificada sub-horizontalmente, integrada por bancos alternantes de tufitas, areniscas y conglomerados, asignados a la formación El Diablo, (***Letelier***, 2013), Figura 6.1.1.3-1.

El escarpe o plano de ruptura, observado en la Figura 6.1.1.3-1, expone una potente sucesión sedimentaria continental, predominantemente clástica, asignada a la formación El Diablo; consiste en bancos muy bien estratificados horizontalmente de areniscas, en parte conglomerádicas, limolitas y calizas semiconsolidadas. Se observan extensos abanicos coluviales coalescentes, que enmantan la sección basal del escarpe, megabloques basculados, elongados cordones integrados por complejas mezclas de bloques y fragmentos rocosos, junto a pequeñas zonas depresionarias parcialmente rellenas con limos y arcillas salinas, blanquecinas.

## FIGURA 6.1.1.3-1
## VISTA PANORÁMICA



Vista hacia el Este de sección superior, escarpe y coronamiento de la Mega Remoción en Masa Aroma Norte, MrAN, en Plano GEO-PTN-02.

Fuente: Elaboración Propia.

Pese a la intensa actividad erosiva que afecta a los terrenos locales, ellos conservan parte importante de una serie de típicos rasgos morfológicos propios de masas movilizadas: lomajes suavemente ondulados, discontinuos elongados "cordones" de baja altura y zonas depresionarias; en todos los casos, se trata de estructuras que, a nivel superficial, en su conjunto, desarrollan relieves muy irregulares con aspecto resquebrajado y ruinoso, con escaso desarrollo de perfiles de suelos, Figura 6.1.1.3-1.

A todo su largo, la sección basal o pié del escarpe incorpora numerosos activos conos y abanicos coluviales que cuya coalescencia, da lugar a una continua franja de materiales fragmentados sueltos, integrados por complejas mezclas de fragmentos rocosos sueltos de diversas formas, tamaños y composiciones, genéticamente asociados a sucesivos desprendimientos a partir de las empinadas paredes de rocosas. La activa removilización de


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

los materiales está condicionada por el carácter inconsolidado o suelto y por el actual ángulo límite de reposo de los acopios coluviales locales. En estos casos, los mecanismos desencadenantes corresponden a episodios pluviales de intensidad extrema, durante el invierno boliviano y/o solicitaciones sísmicas corticales.

El actual "frente lobular" de los activos conos y abanicos coluviales incluye un importante número de megabloques rocosos con tamaños máximos de 4,5 a 5,0 m y medios de 0,7 a 1,2 m, mayoritariamente constituidos por fragmentos de materiales conglomerádicos e ignimbríticos.

A nivel superficial, el cuerpo o masa de la mega remoción mayor, ***MrAN***, configura un característico relieve muy irregular conformado, por una continua sucesión de elementos escalonados, elongados cordones subparalelos provistos de superficies que basculan hacia la ladera, grietas de tracción (en sectores levemente estriadas), junto a cerrillos de base circular, acompañados de una serie de zonas depresionarias cubiertas de arcillas y arcillas limosas blanquecinas, levemente salinas, producto de procesos de evaporación en ambientes lacustres efímeros, favorecidos por la presencia de un ambiente de drenaje endorréico, Figura 6.1.1.3-1.

La caótica composición litológica, unida a la condición semiconsolidada a "suelta" de las masas movilizadas, correspondientes a los frentes lobulares de las mega remociones locales, expuesta en las empinadas laderas de ambas vertientes de la Quebrada de Aroma, condiciona gran parte su activa condición de inestabilidad; está representada por permanentes derrames coluviales de elementos clásticos de variadas formas, tamaños y composición, gatillados por episodios pluviales de intensidad extrema durante el invierno boliviano y/o solicitaciones sísmicas.

***Letelier*** (2013) determina como principal factor condicionante de las mega remociones, a mecanismos de *ground water sapping*, GWS; se vinculan a procesos en situación de provocar importante erosión y socavación por flujos Láminares de aguas subterráneas en presión, a lo largo de planos de concordantes de contacto entre el Miembro Superior e Inferior de la formación El Diablo, constituida por areniscas semiconsolidadas, permeables y la sección superior de la formación El Diablo, integrada por sedimentos geomecánicamente competentes y edad Mioceno inferior - Mioceno Superior bajo.

Se considera que, secundariamente, a nivel local, la presencia local de terrenos geomecánicamente afectados o "degradados" por actividad tectónica compresiva representada por las denominadas Flexuras Aroma y Moquella[17], (***Letelier***, 2013) habrían constituido uno de los principales factores condicionantes de la mega remoción de la Quebrada de Aroma.

El mismo autor determina como principal factor desencadenante de la mega remoción ocurrida en un segmento del margen Norte de la Quebrada de Aroma, a un *input* sísmico, asociado a solicitaciones, vibraciones, inducidas por sismos corticales con magnitud > 6.3°, ubicados a distancias epicentrales inferiores a 20 km, radicados en ambientes prealtiplánicos de la Región de Tarapacá. Se considera que los sismos corticales no generarían mega remociones como las registradas en las zonas prealtiplánicas y

[17] Flexura: Extensa estructura deformada dómica, desarrollada en rocas competentes. En este tipo de ambientes tectónicos, los importantes esfuerzos deformativos afectan el carácter y comportamiento geomecánico de las rocas locales.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

francamente altiplánicas, más allá de 20 km de distancia epicentral. En todos los casos, las variables condicionantes habrían correspondido a la presencia de característicos y particulares ambientes geomorfológicos, representados por numerosas profundas y estrechas quebradas, provistas de laderas subverticales, geomecánicamente poco competentes e inestables.

Para la remoción se asigna una edad máxima de 3 millones de años (Plioceno tardío), (***Letelier***. 2013).

Con la actual información disponible, no es posible determinar si las 2 mega remociones delimitadas y caracterizadas en torno a la zona objeto del presente estudio, ocurrieron en forma maciza o fraccionada, simultánea o alternativamente en diferentes tiempos geológicos. En primera instancia, la actual regularidad morfológica y nivel de erosión de los terrenos comprometidos en las mega remociones, supone el desarrollo de actividad sincrónica.

### 6.1.1.4. Situación Actual de Remociones y Evaluación de Riesgo por Reactivaciones

Importa establecer que, en el caso de mega remociones como las detectadas en la Quebrada de Aroma, ***MrAN*** y ***MrAS,*** en Figura 1 del Plano GEO-PTN-02, la complejidad geológica y geotécnica de los "productos" expuestos (suelos y rocas), en ambas vertientes de la Quebrada de Aroma, unida a la tipología de los mecanismos condicionantes y desencadenantes, limita la determinación y confiabilidad del actual potencial de riesgo asociado a eventuales reactivaciones masivas o puntuales, sobre las futuras obras del Proyecto.

Sea como fuere, transcurridos 3 millones de años desde la ocurrencia de las mega remociones de Quebrada de Aroma, es posible asumir que los materiales (suelos y rocas), que participan de sus respectivas masas movilizadas, habrían tenido un lapso de tiempo suficiente, (sometidos a variados agentes desencadenantes de tipo climático y sísmico), para alcanzar un actual estado de equilibrio y estabilización.

Conforme a este carácter y comportamiento, se estima que los terrenos (suelos y rocas) involucrados en las señaladas mega remociones que, en ambas vertientes de la quebrada Aroma, participan de terrenos objeto del presente estudio, configurarían un ambiente tectónico naturalmente estable, condición que se extendería al "próximo futuro", entendido como la vida útil del Proyecto (50 años).

La revisión y análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales de los terrenos que, en el segmento comprendido entre las ALT 2 y ALT 3, participan del coronamiento de las empinadas laderas de la Quebrada de Aroma, permitió establecer la ausencia de claros rasgos y estructuras (deformaciones y grietas) genéticamente atribuibles a reactivaciones mayores de reciente ocurrencia de las ***MrAN*** y ***MrAS***, en Lámina plano GEO – PTN 02. En el señalado segmento, las inestabilidades detectadas se limitan a activas "removilizaciones" focalizadas menores, tipificadas como desprendimientos y flujos detríticos secos y húmedos de escaso volumen, gatillados por episodios pluviales de intensidad extrema (durante el "invierno boliviano"), solicitaciones sísmicas y/o simples corrientes locales de vientos de gran intensidad, a lo largo del fondo de la Quebrada de Aroma; ello, sin desatender la adversa actividad desestabilizadora ejercida por erosión fluvial en condiciones torrenciales, (invierno boliviano), actuando sobre la sección basal de conos y abanicos coluviales sueltos,


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

integrados por fragmentos rocosos sueltos de diversa forma y tamaño, dispuestos de acuerdo a críticos ángulos de reposo. En todos los casos, las inestabilidades involucran tanto fragmentos angulosos de rocas tobáceas e ignimbríticas como bolones o cantos rodados, esféricos, "desagregados" desde voluminosos bloques conglomerádicos que, en ambas abruptas vertientes de la Quebrada de Aroma, participan de los lóbulos frontales de las mega remociones ***MrAN*** y ***MrAS***.

Con el actual nivel de conocimiento geológico, estructural, geotécnico y de riesgos geológicos, se estima que los terrenos que participarían del emplazamiento de las obras del Proyecto, enmarcados en un característico ambiente geográfico, climático, orográfico y sísmico ***no involucrarían áreas potencialmente generadoras de procesos de remociones en masa o reactivación de mega deslizamientos, tipificados como relictos[18].***

### 6.1.2. Marco Geológico Local

En marco geológico local de los terrenos objeto de estudio, representado cartográficamente en el Plano GEO-PTN-02, corresponde a los antecedentes obtenidos durante un reciente reconocimiento directo de los terrenos objeto de estudio, complementados con la revisión de algunos informaciones referenciales correspondientes a: ***Galli*** y ***Digman*** (1962), ***Farías*** (2003) y ***Farías*** et al (2005) y ***Letelier*** (2003), junto a la revisión y análisis de imágenes satelitales GOOGLE Earth y fotografías aéreas en color de reciente toma; las señaladas actividades permitieron la identificaron, delimitaron y caracterizaron geológicamente (litología y granulometría) de las siguientes unidades de suelos y basamento rocoso.

#### 6.1.2.1. Suelos o Depósitos no Consolidados

- **Consideraciones Previas**

Los sedimentos no consolidados incluyen todos aquellos materiales originados durante el Cuaternario y que, normalmente, se presentan como cubiertas bastante sueltas, discontinuamente dispuestas con espesores muy variables, sobre rocas fundamentales; se asume que las cabeceras del primitivo valle de la Quebrada de Aroma, concordante con terrenos francamente andinos, habrían logrado su mayor grado de profundización y modelamiento por actividad glacial, quedando posteriormente rellenado por importantes espesores de acarreos torrenciales de gran energía de tipo fluvial y fluvioaluvial, intercalados con episodios aerotransportados (cenizas o lapilli volcánico) y gravitacionales o de remociones en masa (desprendimientos, deslizamientos, flujos de barro y/o detritos).

En relación con reconocimientos de superficie asociados a proyectos de obras civiles, la aplicación de criterios morfológicos y litológicos (tipología de los materiales, compacidad, espesor y pendiente), permite identificar, delimitar y caracterizar "*unidades geológicas*" de depósitos no consolidados u suelos; se asume que cada "unidad" corresponde a una entidad areal bien marcada, que condiciona una cierta homogeneidad tanto en relación con sus respectivos atributos geológicos, como en sus propiedades y comportamientos geotécnicos.

[18] Deslizamiento relicto es aquel inactivo, que se desarrolla bajo condiciones climáticas o geomorfológicas considerablemente diferentes de las que prevalecen actualmente.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

- **Depósitos Gravitacionales de Desprendimientos y Avalanchas de Bloques, Indiferenciados, Qda, en Plano GEO-PTN-02**

En el segmento de 750 m de la Quebrada de Aroma directamente comprometido en el estudio, la interacción de factores condicionantes de tipo morfológico (laderas con fuerte pendiente), carácter geológico, (tipología, textura, granulometría), estructural (estratificación, grado de fracturamiento), geotécnico (meteorización, deformabilidad, resistencia superficial) y desencadenantes (ciclos pluviales de intensidad extrema y/o solicitaciones sísmicas), han favorecido el activo desarrollo, a partir de sus empinadas vertientes, de procesos gravitacionales enmarcados en la tipología de desprendimientos y avalanchas de bloques rocosos, ***Qda***, Figura 6.1.2.1-1, en Plano GEO-PTN-02.

## FIGURA 6.1.2.1-1
## SEGMENTO DE LADERA IZQUIERDA QUEBRADA DE AROMA



Inmediatamente aguas arriba de ALT2. Activo derrame de bloques rocosos sueltos, en actual situación de equilibrio limite, proveniente de un banco ignimbrítico rosado, dispuesto horizontalmente e intensamente fracturado.

Fuente: Elaboración Propia.

En sectores puntuales de la Quebrada de Aroma, (con mayor desarrollo en torno a las ALT2 y ALT3, las inestabilidades aparecen asociadas a frecuentes y extendidos fenómenos de erosión aluvial, actuando sobre la sección basal de sus empinadas laderas rocosas, gatilladas caudalosos episodios de crecidas durante el "invierno boliviano".

Los elementos clásticos heterocomposicionales, liberados a partir de los respectivos frentes lobulares de las mega remociones Norte y Sur, ***MrAN*** y ***MrAS***, en Lámina GEO–PTN-02, se desplazan ladera abajo, reduciendo gradualmente sus tamaños originales por sucesivos impactos.

Los depósitos están integrados por complejas mezclas de materiales rocosos fragmentarios sueltos (ignimbritas, tobas, brechas, conglomerados y areniscas) que desarrollan diversas

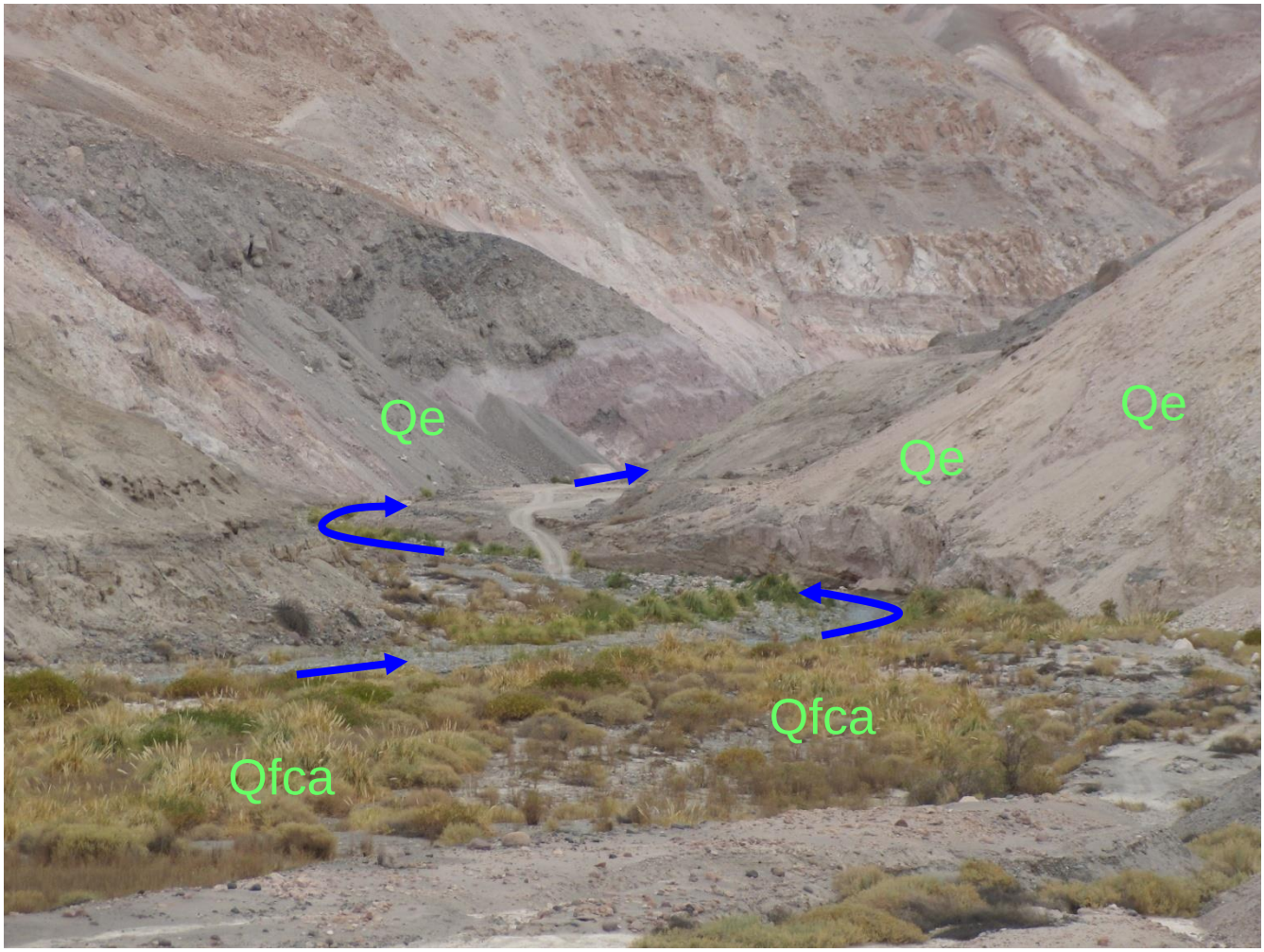

*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

formas y tamaños; los tamaños máximos, correspondientes a bloques angulosos conglomerádicos, fluctúan entre 2,8 y 3,5 m y medios de 0,3 a 0,4 m, semiconsolidados, con densidades y resistencias globales medias a bajas.
Los "acopios" de bloques basales sueltos alcanzan mayor desarrollo en torno al segmento de la Quebrada de Aroma involucrado en el emplazamiento de las alterativas ALT2 y ALT3, Figura 6.1.2.1-1, en Lámina GEO–PTN–02. En torno a este sector, los bloques rocosos que acceden a la estrecha llanura de inundación, configuran verdaderos "*campos de bloques*" sueltos, que obstaculizan, el normal escurrimiento de las aguas de la Quebrada de Aroma, a lo largo de su cauce preestablecido; condición superada por divagaciones que restablecen el flujo normal de las aguas de la quebrada; en cambio, cuando los bloques métricos se disponen sobre laderas provistas de moderada pendiente local, suelen permanecer en situación de equilibrio crítico, inestable; en esta condición presentan elevada susceptibilidad al desarrollo de reactivaciones, gatilladas por episodios pluviales de intensidad extrema y/o solicitaciones sísmicas.

- **Depósitos Gravitacionales de Escombreras de Laderas de Cerro y Coluvios, Indiferenciados, Qe, en Lámina plano GEO-PTN-02**

Las configuraciones morfológicas asociadas a este tipo de depósitos, incluyen tanto estructuras mantiformes, como abanicos coalescentes, propios de verdaderos conos de deyección.
Tratándose básicamente de suelos granulares de origen local, sueltos e inestables, alcanzan mayor desarrollo en laderas provistas de fuerte pendiente local, 25º a 40°, cercanamente, concordante con el ángulo de reposo de materiales detríticos sueltos.
Incluyen granulometrías medias a gruesas del tipo ripios, gravas y gravillas, con escasos finos intersticiales que, discontinuamente, enmantan o rellenan con espesores muy variables, segmentos de las ambas laderas de la Quebrada de Aroma, constituidas por caóticas mezclas macizas de materiales (rocas y suelos) que participan de los frentes lobulares de mega remociones, ***MrAN*** y ***MrAS***, Figura 6.1.2.1-2, en Plano GEO-PTN-02.
De acuerdo a ello, configuran masas sueltas, muy inestables, con elevada propensión a desarrollar reactivaciones gatilladas, principalmente, por episodios pluviales de intensidad extrema; una vez puestas en acción, se expresan en recurrentes remociones de "flujos detríticos secos" o "húmedos" que vierten sus cargas, hacia discontinuos segmentos del pié de ambas escarpadas laderas de la Quebrada de Aroma, Figura 6.1.2.1-2, en Plano GEO-PTN-02.

**FIGURA 6.1.2.1-2**
**VISTA AGUAS ABAJO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL EJE ALT1**




El segmento basal de ambas laderas de la quebrada se observa discontinuamente enmantado, con espesores muy variables, por activos depósitos coluviales, Qe, integrados por fragmentos angulosos, sueltos de distinta forma y tamaño, con predominio de materiales de carácter ignimbrítico. Qfa = Llanura de inundación Quebrada de Aroma.

Fuente: Elaboración Propia.

En todos los casos, las respectivas composiciones de este tipo de depósitos dependen del carácter litológico de las rocas de las cuales proceden, (tobas, ignimbritas, conglomerados), mayoritariamente, formados por rodados, semi esféricos y fragmentos angulosos heterométricos e inalterados.

Esencialmente, se trata de depósitos con bajas capacidades de soporte, sobre todo en torno al contacto con el basamento rocoso subyacente y cuando se desarrollan altas presiones intersticiales, producto de precipitaciones pluviales de intensidad extrema.

En cortes viales, excavados en este tipo de depósitos, el carácter inconsolidado de los depósitos, favorece al desarrollo de complejas inestabilidades, (desde simples deformaciones superficiales, hasta voluminosos derrames y remociones o desplazamientos del tipo reptación lenta o solifluxión), gatilladas por solicitaciones sísmicas y/o episodios pluviales de gran intensidad; en algunos casos, este comportamiento demanda la forzada instalación de muros de contención a base de: gabiones, mampostería, cribas u hormigón


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

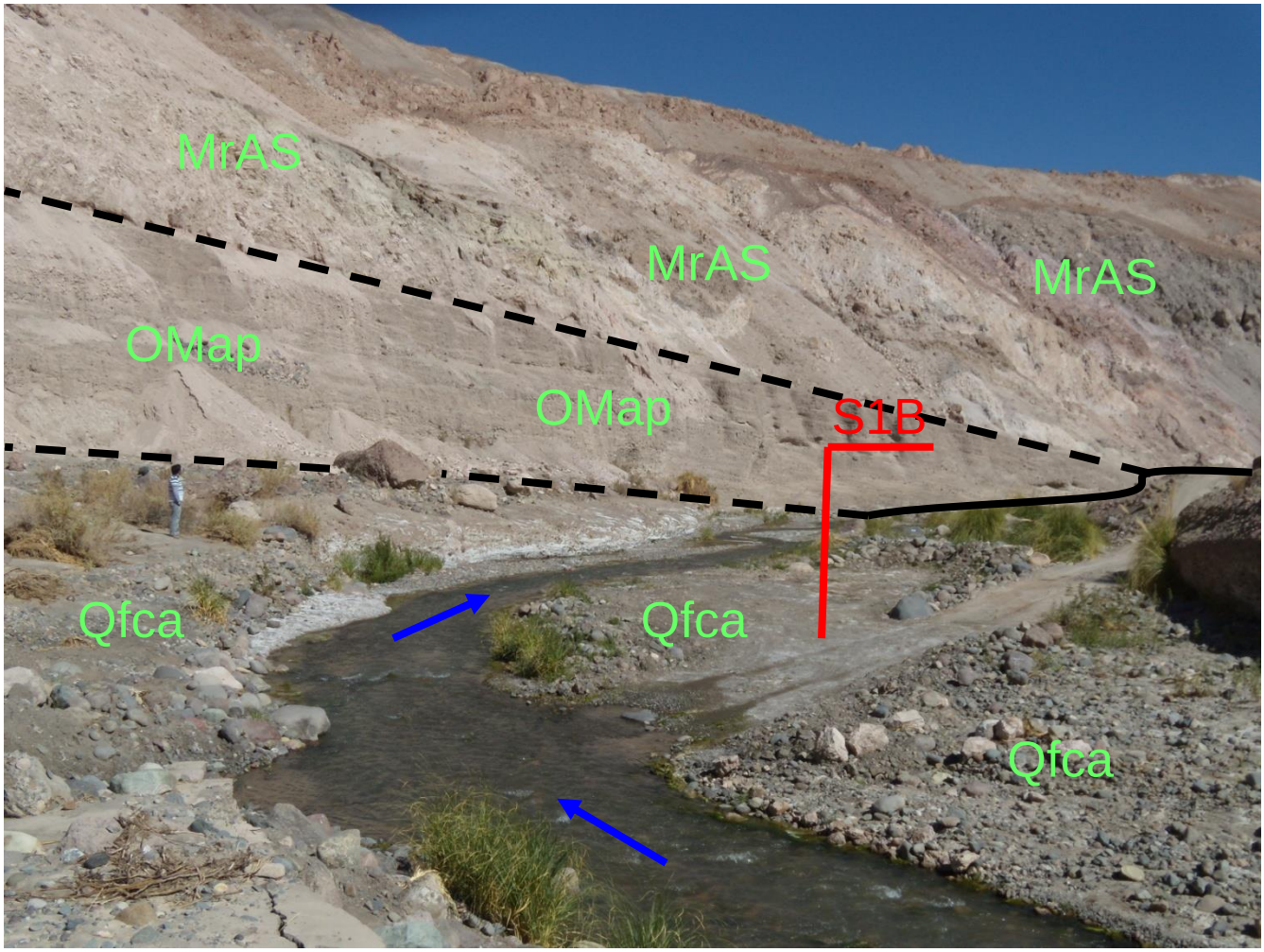
estructural, destinados a controlar derrames hacia las plataformas y carpetas de rodado de las obras viales.
La normal ausencia de cobertura vegetacional y/o suelos, unida a la inmadurez de los depósitos, da cuenta de procesos recientes a actuales

- **Depósitos Fluviales a Fluvioaluviales del Actual Cauce y Llanura de Inundación de Quebrada de Aroma, Qfca, en Plano GEO-PTN-02**

Se trata de acarreos granulares sueltos, al interior y terrenos marginales del activo cauce de la Quebrada de Aroma; consisten en ripios, gravas, gravas arenosas y gravillas o arenas muy gruesas, acompañadas de abundantes bolones dispersos, en un conjunto de netas características fluviales a fluvioaluviales; los mecanismos depositacionales alcanzan mayor intensidad durante recurrentes crecidas o "avenidas", asociadas al invierno boliviano, instante en que la insuficiente sección de porteo del bien establecido cauce, determina el desborde de las aguas hacia terrenos marginales, cubriendo extensas sectores de su activa llanura de inundación, Figura 6.1.2.1-3, en Plano GEO-PTN-02.
Se trata, principalmente, de materiales cuya procedencia primaria provendría de erosión y prolongado transporte de materiales rocosos fracturados, que participan de la configuración de las cabeceras altiplánicas de la hoya hidrográfica de la Quebrada de Aroma.
Se trata de depósitos granulares "bien lavados" que conforman secuencias macizas a pobremente estratificadas, integradas por sedimentos moderadamente clasificados provistos de buen redondeamiento; las fracciones gruesas, "bolones" con tamaños medios en el rango de 0,15 a 0,2 m, se observan inalterados, resistentes, con aspecto "fresco", dispuestos en una escasa matriz de arenas gruesas a gravillas, exentos de finos cohesivos que, en sectores, desarrollan activas "islas o bancos" temporales dispuestos discontínua y anárquicamente a todo lo ancho y largo de la llanura de inundación de la Quebrada de Aroma; Los márgenes de las señaladas estructuras sólo adquieren una clara expresión morfológica, cuando el cauce ha logrado cierta profundización, expresada en el desarrollo de incipientes niveles aterrazados.
Normalmente, en la medida del avance aguas abajo, estos depósitos demuestran una gradual y persistente disminución en el tamaño de sus fracciones mayores y consiguientes aumentos en los contenidos de finos intersticiales (limos y limos arcillosos); en sectores puntuales, suelen incorporar estructuras lenticulares, propias de episodios sedimentarios con baja energía de transporte (ambientes con aguas "tranquilas").

**FIGURA 6.1.2.1-3**

**VISTA LADERA IZQUIERDA QUEBRADA AROMA, AGUAS ABAJO ALT1**

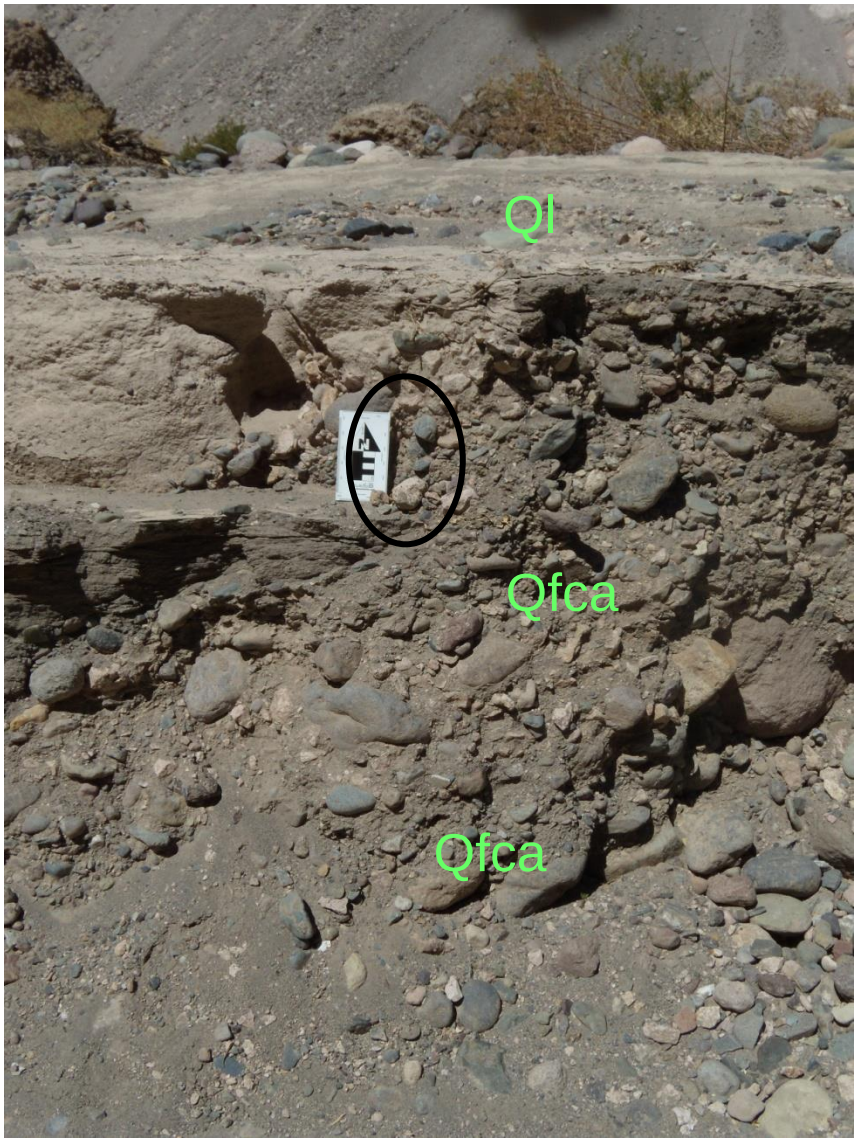



Fuente: Elaboración Propia.

En el sector (Figura 6.1.2.1-3), la actual llanura de inundación de tipo fluvial a fluvioalivial, Qfca, está integrada por depósitos granulares correspondientes a ripios, gravas y arenas muy gruesas, con escasos finos cohesivo, (bien "lavadas") acompañadas de abundantes bloques y bolones decamétricos, heterocomposicionales, densos, inalterados, muy resistentes, inmersos en una escasa matriz de arenas finas, carentes de finos intersticiales cohesivos; conjunto suelto, muy poroso y permeable. En sectores, la presencia de pátinas de eflorescencias salina blanquecina, da cuenta de procesos de evaporación a partir de aguas con altas concentraciones salinas. La empinada ladera izquierda de la Quebrada de Aroma, expone en su sección basal una regular y continua secuencia subhorizontal, bastante bien estratificada, integrada por delgados bancos alternantes de conglomerados y areniscas muy gruesas y finas de color gris, semi consolidados, asignadas a la formación Altos de Pica, OMap; subyacen concordantemente a lo largo del probable (?) plano de ruptura de la Mega Remoción en Masa Aroma Sur, MrAS, en Plano GEO-PTN-02. El "cuerpo" de los materiales removidos está constituido, por una compleja mezcla maciza de fragmentos de diversas formas y tamaños correspondientes, esencialmente, a ignimbritas rosadas; el carácter granulométrico y comportamiento geotécnico de los materiales, favorece la inestabilidad de

los depósitos, expresada en activos desprendimientos y derrames coluviales, a partir de las empinadas laderas de la Quebrada de Aroma. Qfca = Depósitos fluviales a fluvioaluviales del actual cauce de la Quebrada de Aroma. Se indica sitio de sondaje S1B.

**FIGURA 6.1.2.1-4**
**LLANURA DE INUNDACIÓN AGUAS ABAJO EJE ALT2**




Fuente: Elaboración Propia.

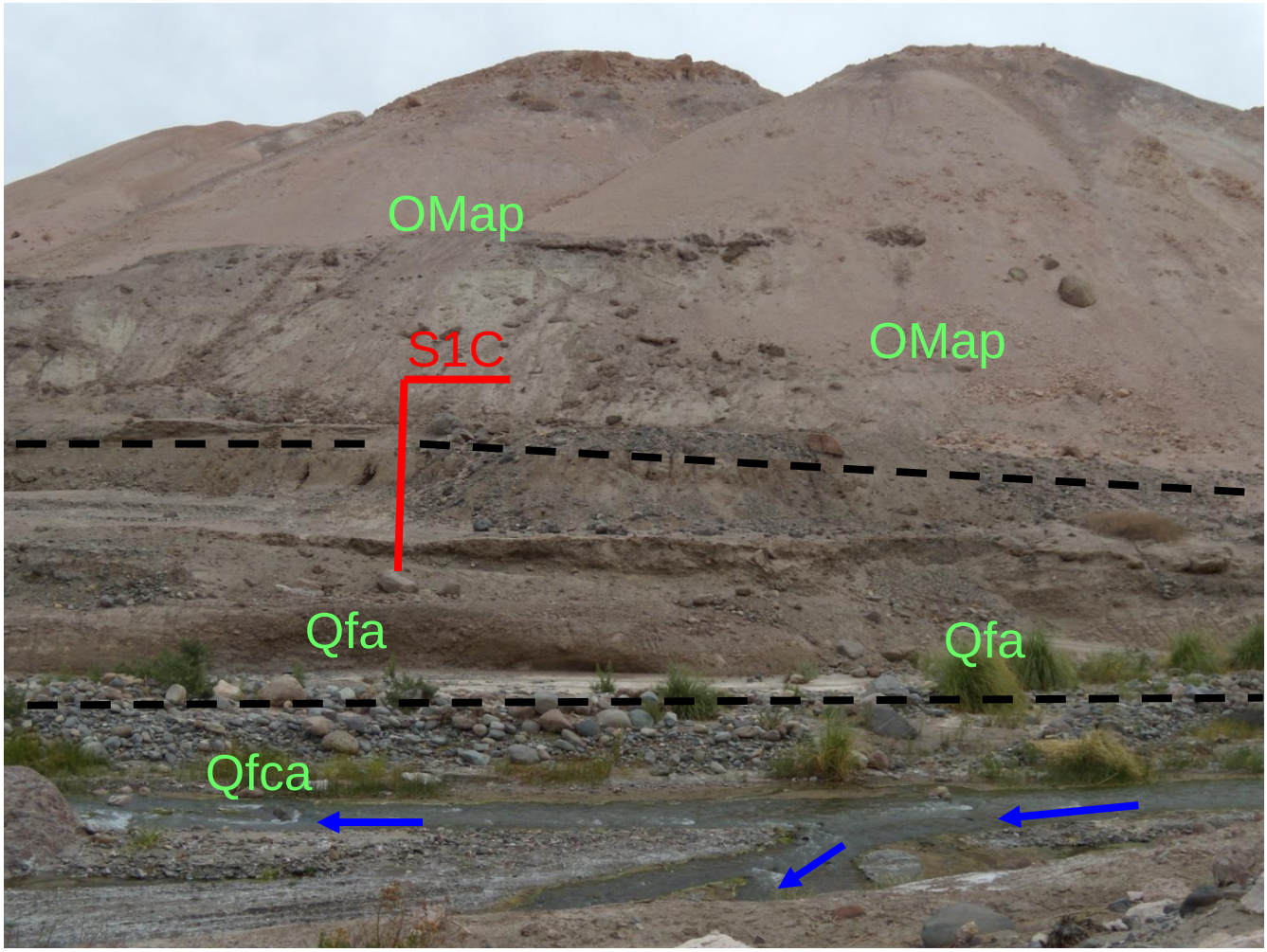
En la Figura 6.1.2.1-2 se muestra la secuencia de llanura de inundación ubicada inmediatamente aguas arriba del eje ALT2. Se aprecia detalle de depósitos granulares macizos a escasamente estratificados, integrados por ripios, gravas y gravas arenosas con escasos finos intersticiales cohesivos, semiconsolidados, Qfca; sección superficial constituida por estratos finamente estratificados de tipo lacustre, arenosos a arenolimosos, blanquecinos, semiconsolidados, Ql, en Plano GEO-PTN-02. Escala: Tarjeta de 12 x 19 cm.

Estos depósitos demuestran buena calidad para el efectivo suministro de materiales de empréstito, Figura 6.1.2.1-3 y Figura 6.1.2.1-4, en Plano GEO-PTN-02. Genéticamente, los materiales de esta unidad se vinculan a procesos de transporte y sedimentación actual.

- **Depósitos Fluviales a Fluvioaluviales de Terrazas Marginales y Llanura de Inundación de la Quebrada de Aroma, Qfa, en Plano GEO-PTN-02**

El relleno del fondo de la Quebrada de Aroma, que participa de la actual configuración de su llanura de inundación, sujeta a recurrentes crecidas gatillas por episodios pluviales de intensidad extrema durante el "invierno boliviano", está integrado por una compleja secuencia alternante de depósitos granulares: ripios, gravas, gravillas y arenas, junto a delgados estratos lenticulares finamente estratificados de limos y limos arcillosos, con tonalidades blanquecinas a levemente amarillentas.
Las fracciones granulares responderían a mecanismos de arrastres torrenciales de tipo aluvial a fluvioaluviales, mientras que las finas a episodios depositacionales en ambientes temporales, con circulación restrictiva, (baja energía de transporte).
Los depósitos granulares alcanzan mayor desarrollo en torno al sitio de emplazamiento de la ALT1, Figura 6.1.2.1-5, en Lámina GEO-PTN-02, concordante con un sector donde el fondo de la llanura de inundación de la Quebrada de Aroma, presenta un importante incremento en ancho. En este sector, los depósitos fluviales a fluvioaluviales que rellenan su fondo, participan de la configuración de remanentes mal conservados de elongadas terrazas marginales de la Quebrada de Aroma; mientras tanto, a partir de aproximadamente 350 m de aguas abajo del sitio de emplazamiento de la ALT1, los señalados rasgos morfológicos se limitan a discontinuas estructuras de escaso desarrollo longitudinal y altura, correspondiente a remanentes mal conservados de terrazas marginales bajas o "*nuevas*", localmente enmantadas por voluminoso acopios gravitacionales: bloques desprendidos, coluvios.
Los elementos clásticos de los depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales, son heterocomposicionales: volcánicos (andesitas, andesitas - basálticas), volcanoclásticos (brechas, aglomerados, tobas e ignimbritas) y menor proporción de graníticos (granitos, granodioritas, dioritas, tonalitas, monzonitas); indiferenciadamente, se presentan bien pulimentados, redondeados a subredondeados, (producto de prolongadas trayectorias de transporte), densos, inalterados, muy resistentes, en Lámina GEO–PTN-02.
La común uniformidad granulométrica y petrográfica, junto a la estabilidad fisicoquímica de los elementos clásticos, unida a bajos contenidos de finos arcillosos y restos orgánicos y favorable ripabilidad de los depósitos, facilita su remoción o extracción recurriendo al simple empleo de equipo mecanizado convencional, (cargadores frontales, bulldozers, retroexcavadoras); ello ha favorecido la apertura de pozos de empréstito, destinados al efectivo suministro de materiales para la construcción de variadas obras: caminos (terraplenes y carpetas de rodado) y rellenos estructurales involucrados en la preparación de fundaciones. Las fracciones granulares mayores, "rechazos", (> 5 pulgadas) convenientemente triturados *in situ*, producen áridos de excelente calidad para la preparación de hormigones de alta resistencia; la ocasional presencia de sal en los depósitos, limita su aprovechamiento para la producción de hormigones.

**FIGURA 6.1.2.1-5**
**SECCIÓN BASAL LADERA DERECHA QUEBRADA AROMA**




Fuente: Elaboración Propia

La sección basal de la ladera derecha de la Quebrada de Aroma, Figura 6.1.2.1-5, expone continua secuencia horizontal de la formación Altos de Pica, OMap, integrada por nivel macizo de ignimbritas grises, semiconsolidadas, que sobreyace concordantemente a ignimbritas rosadas, intensamente fracturada, que ladera arriba, configuran la actual superficie de erosión en el sector. Qfa = Remanente de terraza marginal de tipo fluvial a fluvioaluvial. Qfca = Depósitos de actual llanura de inundación de la Quebrada de Aroma. Se indica sitio de sondaje S1C.
Se trata de sedimentos genéticamente vinculados a procesos depositacionales holocenos (10 a 12 mil años antes del presente).

- **Depósitos de Terrazas Marginales Lacustres, Ql, en Lámina GEO-PTN-02**

A partir de aguas arriba de la zona de emplazamiento de la ALT2, la sección basal de la Quebrada de Aroma desarrolla un gradual y sostenido incremento en su ancho; producto de ello, hacia aguas arriba, se pasa de una profunda y estrecha llanura de inundación (20 a 30 m de ancho) a una amplia estructura llana (95 a 100 m de acho), Figura 6.1.2.1-6.

En dicho sector, la presencia y desarrollo de esta discontinuidad ha sido atribuida al bloqueo de un segmento de la llanura de inundación y correspondiente cauce de descarga de la Quebrada de Aroma, por una compleja y voluminosa mezcla de materiales (suelos y rocas) movilizados de acuerdo a trayectorias opuestas, a partir de ambas vertientes, hacia su primitivo cauce, por las mega remociones ***MrAN*** y ***MrAS***, en Plano GEO-PTN-02.

En el marco de esta hipótesis, la obstrucción temporal del escurrimiento de las aguas en la quebrada, habría condicionado el desarrollo de una voluminosa cubeta, con aguas de circulación restringida o tranquila, propicia a sedimentación lacustre. Actualmente, los "productos" del señalado ciclo de depositación, están morfológicamente representados como remanentes bastante bien conservados de elongadas terrazas marginales bajas que, continuamente, a partir del sitio de emplazamiento de la ALT2, a lo largo de aproximadamente 9,5 a 10 kms, ocupan la sección basal de la Quebrada de Aroma, concordante con las inmediaciones de la localidad homónima.

En su momento, los voluminosos aportes clásticos finos habrían provenido de actividad erosiva de materiales volcánicos (tobas e ignimbritas) radicados en torno a la sección basal de numerosos activos centros volcánicos que participan de las actuales cabeceras de la hoya hidrográfica de la Quebrada de Aroma.

Los depósitos lacustres se apoyan concordantemente, sobre la potente secuencia granular fluvial a fluvioaluvial que participa del relleno mayoritario de la Quebrada de Aroma

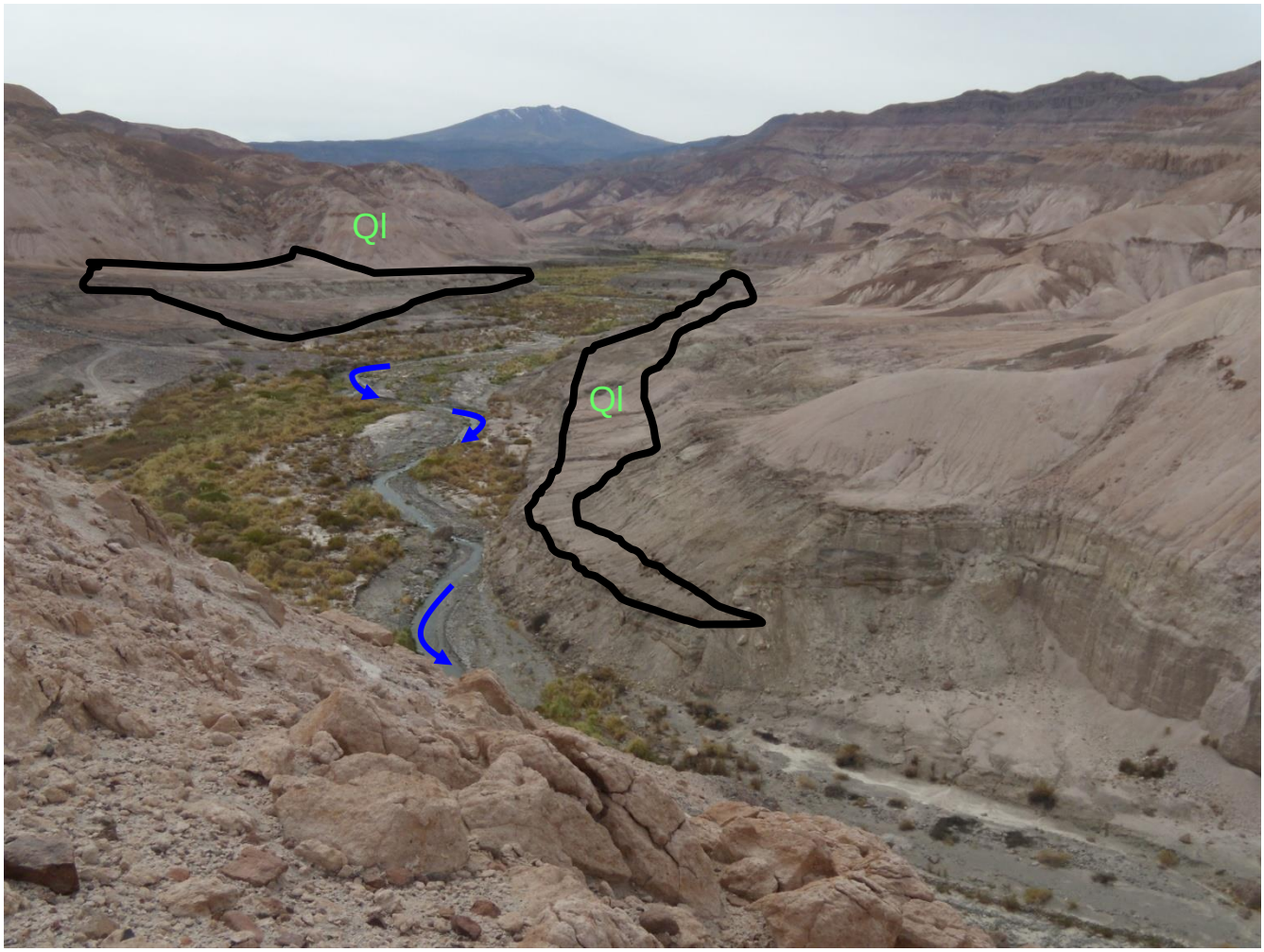
El coronamiento de la secuencia lacustre, se dispone a cotas máximas de 25 a 30 m sobre el fondo de la actual llanura de inundación de la Quebrada de Aroma, Figura 6.1.2.1-6, en Lámina GEO-PTN-02.

La secuencia está integrada por una alternancia finamente estratificada, dispuesta horizontalmente de capas decimétricas de areniscas, areniscas limosas, arcillas limosas y arcillas francas con tonalidades verdosas a amarillentas, acompañadas de discontinuos niveles lenticulares de gravas y gravas arenosas, Figura 6.1.2.1-7 y Figura 6.1.2.1-8 (ambas, fuera de la cobertura areal de Plano GEO-PTN-02).

**FIGURA 6.1.2.1-6**

**VISTA HACIA AGUAS ARRIBA QUEBRADA DE AROMA**


*Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego*
*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*




Fuente: Elaboración Propia.

La foto de la Figura 6.1.2.1-6, captada partir de un punto situado inmediatamente ladera arriba del apoyo derecho de la ALT1 del PCEP. Se destaca el amplio desarrollo de remanentes de terrazas marginales lacustres, Ql, en Lámina GEO–PTN-02, que participan de la sección basal de ambas vertientes de la quebrada.

**FIGURA 6.1.2.1-7**
**VISTA DE ESTRATIFICACION LATERAL**

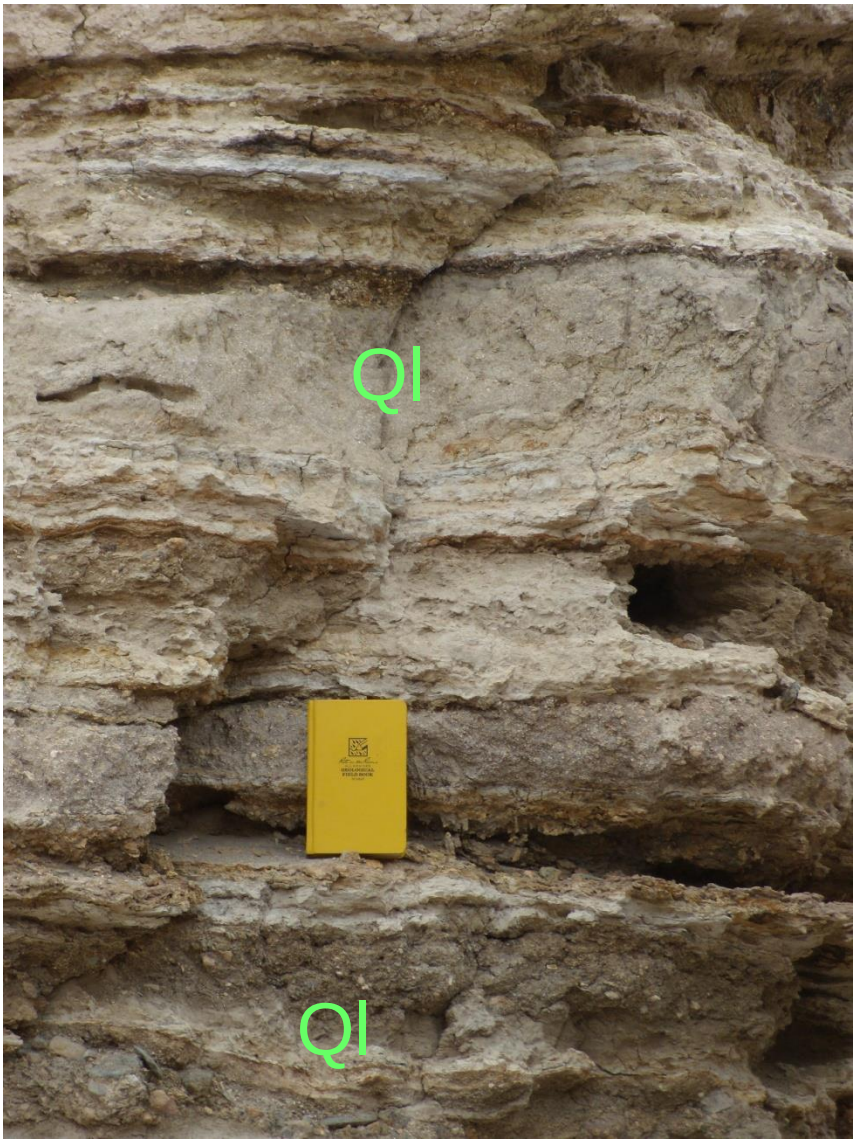



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 6.1.2.1-7 muesta una secuencia alternante estratificada horizontalmente en láminas centimétricas de areniscas, cenizas volcánicas, limolitas, limolitas arcillosas y arillas francas de color blanquecino y amarillento, bastante litificadas que, aproximadamente 520 m aguas arriba de la ALT1 configuran elongados remanentes de terrazas marginales lacustres que ocupan la sección basal de ambas vertientes de la Quebrada de Aroma, Ql en Lámina GEO-PTN 02. Escala: Libreta de 12 x 19 cm.

**FIGURA 6.1.2.1-8**

**MAYOR DETALLE DE ESTRATIFICACION LATERAL**




Mayor detalle de depósitos lacustres. ***Ql***, en Plano GEO-PTN-02. Escala: Libreta de 12 x 19 cm.

Fuente: Elaboración Propia.

En su conjunto, configuran secuencias semiconsolidadas muy regulares, con elevada susceptibilidad a la erosión hídrica, bajas porosidades e impermeables; sus favorables ripabilidades favorecen la remoción mecanizada: bulldozers, cargadores frontales, motoniveladoras.

La señalada condición posibilitaría el tallado de cortes con alturas de 6 a 8 m, provistos de taludes regulares o continuos (sin bancos o escalones intermedios) aceptablemente estables, del tipo 1:3 a 2:3 (H:V),

- **Depósitos de Mega Remociones en Masa, MrAN y MrAS, en Figura 1 del Plano GEO-PTN-02**

En la zona objeto de estudio, el compromiso, caracterización y alcance de los materiales asignados a esta unidad, se sustentó en la revisión y análisis de reciente valiosa información

geológica referencial (***Farias***, 2003 y 2005 y ***Letelier*** (2013), complementada con antecedentes generados a partir de la interpretación de imágenes satelitales GOOGLE Earth y fotografías aéreas color escala 1:15.000 de reciente captura, junto a los resultados de reconocimientos directos del terreno local y su respectiva zona de influencia o entorno inmediato.

Las señaladas actividades permitieron confirmar la presencia, características y compromiso areal de materiales (complejas mezclas de suelos y rocas) que participan de "desgastados" lóbulos frontales, discontinuadamente expuestos en segmentos de ambas vertientes de la Quebrada de Aroma, genéticamente asociados a voluminosas remociones en masa ocurridas en el pasado geológico (3 millones de años), identificadas como "Mega Remociones en Masa Aroma Norte y Sur", denominadas ***MrAN*** y ***MrAS***, respectivamente, en Figura 1 del Plano GEO-PTN-02.

Esencialmente, se trataría de procesos dinámicos que, de acuerdo a sus actuales niveles de evolución y afinidades morfológicas, habrían involucrado movimientos sincrónicos, opuestos, convergentes hacia el eje de la Quebrada de Aroma.

Conforme a lo consignado en el acápite 6.1.1, del presente documento, involucra sendas remociones enmarcadas en la tipología de deslizamientos multirotacionales, integrados por imateriales sedimentarios continentales de la formación El Diablo de edad Terciario superior (Mioceno medio – superior).

De acuerdo a ***Farías*** (2005 y 2008) y ***Letelier*** (2013) se trata de procesos que, en su momento, (Terciario superior) comprometieron amplias superficies de terrenos prealtiplánicos y francamente altiplánicos, ubicados al interior de las regiones de Arica – Parinacota, Tarapacá y Atacama, conformados por regulares, continuas y elongadas mesetas, con suave inclinación hacia el occidente y alturas medias de 1.900 a 2.300 ms.n.m, disectadas por numerosas, estrechas y profundas quebradas labradas en rocas sedimentarias y volcanoclásticas de edad Neógena.

El registro de los materiales expuestos en el escarpe o plano principal de ruptura de la mega remoción Aroma Norte, ***MrAN*** en Plano GEO-PTN-02, como de los megabloques sueltos, ubicados en torno a su sección basal, ha permitido establecer el dominio de materiales incluidos en la formación El Diablo de edad Mioceno superior – Mioceno inferior); incluye una potente sucesión sedimentaria continental, predominantemente clástica, integrada por bancos alternantes, dispuestos subhorizontalmente de areniscas, (en parte conglomerádicas), limolitas y calizas, semiconsolidadas, con intercalaciones locales de tobas retrabajadas (tufitas) y lentes de diatomitas y halita (sal).

En todos los casos, los terrenos que participan de las masas movilizadas por ambas mega remociones están integrados, dominantemente, por una mezcla caótica de bloques de diversa forma, tamaño y carácter geológico – geotécnico, inmersos en fragmentos rocosos menores, acompañados de materiales finos desarrollados por prolongados procesos de desagregación y meteorización.

El alcance y compromiso de los materiales (rocas y suelos) movilizados por las mega remociones precedentemente descritas involucrarían, dominantemente, terrenos que participan de los sitios de emplazamientos de los estribos de las ALT 2 y ALT3.

El análisis de la información morfológica, geológica y estructural de los terrenos involucrados en ambos apoyos de la ALT1, permite establecer que el alcance de las mega remociones Aroma Norte y Sur, ***MrAN y MrAS*** en Plano GEO-PTN-02, no se extendió haciia

aguas arriba ésos sectores. Conforme a ello, se trataría ambientes morfogeológicos, estructuralmente continuos y estables; la continuidad de la estratificación de la secuencia sedimentaria de la formación Altos de Pica, ***OMap***, en Figura 6.1.2.1-7 y Figura 6.1.2.1-9, da cuenta de la señalada condición

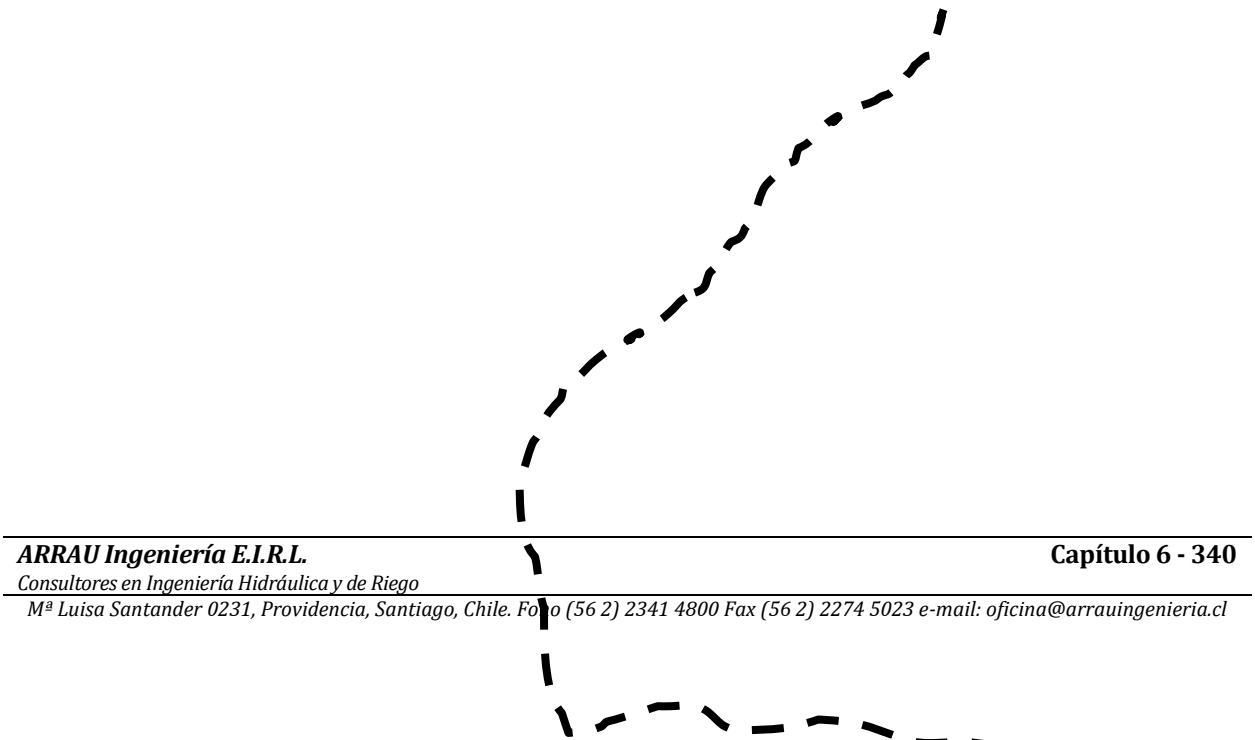
Al respecto, importa consignar que durante la reciente campaña de prospecciones mediante sondajes, limitaciones de accetopográficas en sector, impidieron la perforación de un sondaje, destinado a confirmas las incertidumbres respecto de alcance

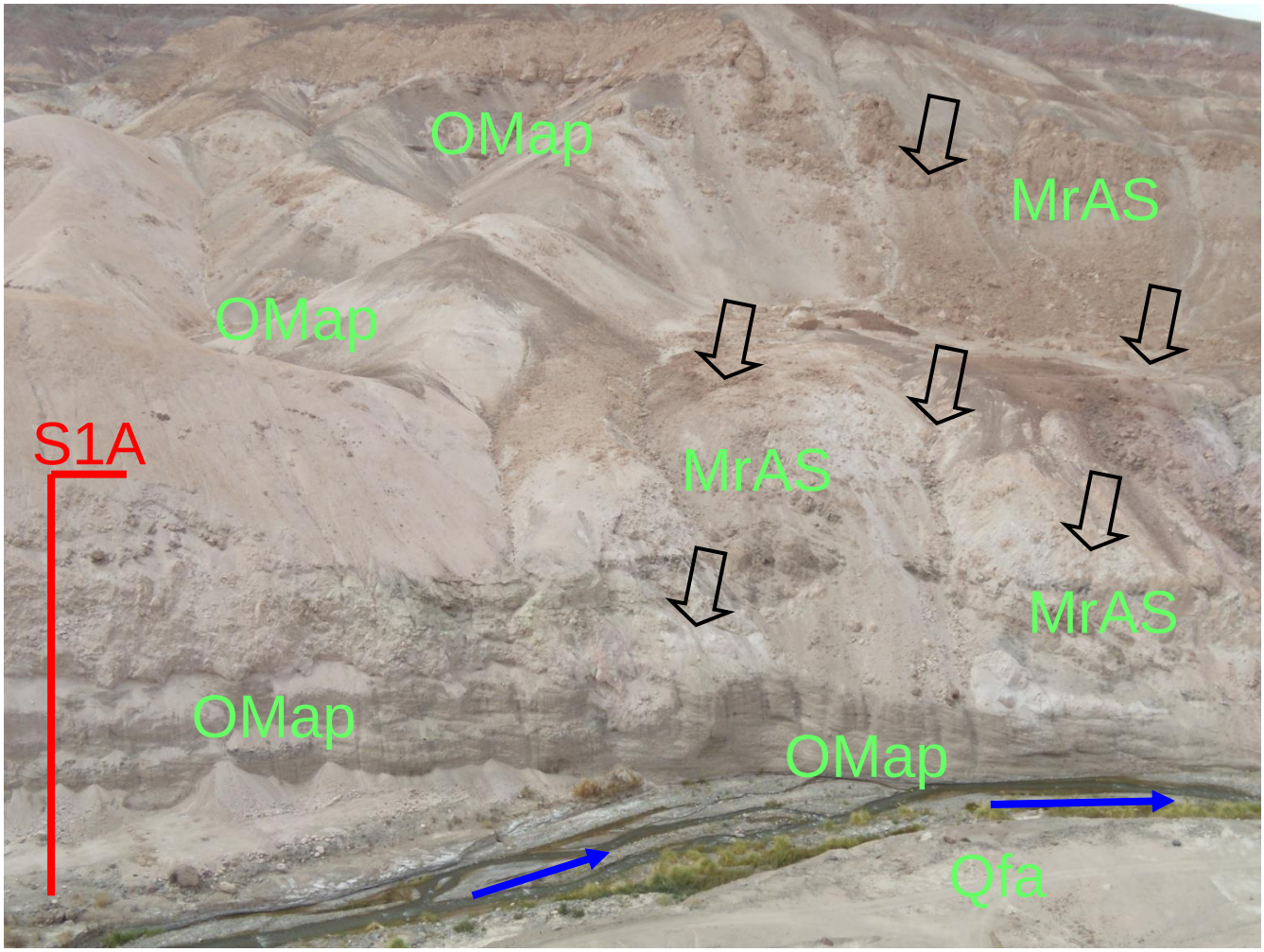
La habitual normal carencia de afectivas uniones cohesivas entre los diversos componentes (bloques, rodados, clastos, matriz y cemento) en las masas movilizadas por las mega remociones, les otorgan a los materiales que participan de sus respectivas composiciones el carácter de verdaderas "rocas blandas" (*soft rcks*); conforme a ello, se asume que cuando sometidos a solicitaciones en obras, podrían desarrollar comportamientos geomecánicos intermedios entre rocas y suelos. Normalmente, el carácter evolutivo de las *rocas blandas*, está representado por desagregaciones, cambios volumétricos (expansión irreversible), pérdidas de rigidez y progresivo desarrollo de fisuras y grietas superficiales (pérdida de continuidad).

La fotografía de la Figura 6.1.2.1-9 muestra segmento de vertiente izquierda de la Quebrada de Aroma, inmediatamente aguas abajo del apoyo izquierdo de la ALT1. La sección superior de la ladera compromete una caótica mezcla maciza de materiales sueltos a escasamente consolidados constituidos, mayoritariamente, por fragmentos ignimbríticos rosados a blanquecitos de diversa tamaño y forma. Se trata de materiales genéticamente atribuidos a la Mega Remoción en Masa Aroma Sur, MrAS, en Plano GEO-PTN-02, que afectó a una elongada franja de terrenos de la vertiente izquierda de la Quebrada de Aroma, incluyendo aquellos involucrados en el emplazamiento de los apoyos izquierdos de las alternativas ALT2 y ALT3. En el sector, la secuencia sedimentaria granular, bien consolidada de la formación Altos de Pica, OMap, participaría en continuidad estructural, como plano basal de ruptura del margen NE de terrenos desplazados por la Mega Remoción en Masa Aroma Sur, MrAS. Qfa = Depósitos fluvial a fluvioluvial de terrazas marginales. Se indica sitio de sondaje S1A.

**FIGURA 6.1.2.1-9**

**VISTA AGUAS ABAJO ESTRIBO IZQUIERDO ALT1**






Fuente: Elaboración Propia.

## 6.1.2.2. Basamento Rocoso

- **Consideraciones Previas**

La categorización de "*basamento rocoso*" se aplicó a agregados o masas formadas naturalmente, densas, consolidadas y compactas de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes; habitualmente, se consideran sistemas continuos, en términos de sus propiedades, comportamientos geotécnicos y respuestas ante la acción de fuerzas aplicadas en sus respectivos entornos. De acuerdo a ello, se trata de materiales cuya resistencia, grado de fracturamiento y/o alteración superficial, determinan que sus respectivas remociones (excavaciones) sólo pueden ser realizadas recurriendo al empleo de procedimientos de perforación y tronaduras.
Atendidos tanto los objetivos, escala y alcances del presente estudio, la complementación de antecedentes geológicos y estratigráficos contenidos en ***Letelier*** (2013), junto al análisis de los resultados obtenidos durante la realización del reciente breve reconocimiento directo de los terreno objeto de estudio, los materiales que participan del basamento rocoso local

fueron asignados, mediante correlación latitudinal, a las formaciones El Diablo de edad Mioceno inferior – Mioceno superior bajo (***Tobar*** et al,1968) y Altos de Pica (***Galli*** y ***Dingman***,1962) de edad Oligoceno – Mioceno inferior; los señalados autores dividieron esta unidad en 5 Miembros: 3 dominantemente sedimentarios y 2 ignimbríticos.
Posteriores estudios centrados en la zona prealtiplánica de la Región de Arica – Parinacota, permitieron correlacionar el Miembro 1 de la formación Altos de Pica, (conglomerados y areniscas, con la formación Azapa, los Miembros 2, 3 y 4, (tobas y areniscas) con la formación Oxaya y el Miembro 5 (Areniscas y conglomerados finos) con la formación El Diablo.
En la zona objeto del estudio, los materiales de las formaciones El Diablo y Altos de Pica, participan de potentes secuencias de depósitos clásticos e ignimbritas que se disponen discordantemente sobre morfologías modeladas en unidades mesozoicas y paleozoicas. Los materiales de las señaladas formaciones configuran una gran unidad volcano - sedimentaria genéticamente asociada a procesos de compensación al alzamiento del segmento altiplánico de la Cordillera Andina, en un ambiente climático y morfológico favorable a la generación de un extenso piedemonte, debido a la potente acumulación de detritos durante el Oligoceo – Neogeno, (***Letelier***, 2013).
En los terrenos directamente involucrados en las obras del Proyecto objeto de estudio, la presencia de materiales de la formación Altos de Pica, se limita al entorno inmediato de la ALT1, mientras que aquellos de la formación El Diablo, participan del plano principal de ruptura y actual escarpe de la Mega Remoción en Masa Aroma Norte, ***MrAN***, por tanto distante de la franja de terrenos involucrados en el estudio, Figura 1 del Plano GEO-PTN-02
Conforme a las asignaciones estratigráficas vigentes en la literatura geológica chilena, a continuación se identifican y describen las formaciones que proporcionan el marco geológico local, consignado en el Plano GEO-PTN-02.

- **Formación El Diablo, Mimd, en Figura 1 Plano GEO-PTN-02**

Incluye una sucesión sedimentaria continental, subhorizontal, dispuesta en capas finas, tanto tabulares continuas como lenticulares, suavemente plegadas.
La unidad está constituida por una secuencia de hasta 25 m de espesor integrada por areniscas con estratificación cruzada, en parte conglomerádicas, limolitas y calizas, semiconsolidadas de colores gris, amarillo y pardo que, localmente, incorpora intercalaciones de tobas, retrabajadas (tufitas) y lentes de diatomeas y sal (halitas), (***Garcia*** et al 2004). Las fracciones clásticas corresponden, predominantemente, a tobas riolíticas que incluyen fragmentos de pómez y cristales de cuarzo y biotita. La matriz de las areniscas es cinerítica y el cemento corresponde a minerales de arcilla, sílice y calcita.
La sección superior de la formación El Diablo, está constituida por estratos de ripios de grano fino a muy grueso y gravas clastosoportadas, medianamente seleccionadas y semiconsolidadas de colores negro, gris oscuro y pardo, con intercalaciones de areniscas.
***Letelier*** (2003) asigna a esta formación una edad Mioceno Medio - Superior, esto es, entre 20 y 9 millones de años antes del presente.

- **Formación Altos de Pica, OMap, en Plano GEO-PTN-02**

Los materiales que participan de esta formación, incluyen una compleja secuencia terrígena o continental, integrada principalmente por rocas sedimentarias conglomerádicas [19] y volcanoclásticas ignimbríticas [20] con frecuentes intercalaciones regulares de areniscas medias a finas, grises oscuras, bastante porosas (que en sectores desarrollan leve estratificación entrecruzada), acompañadas por tobas riolíticas semiconsolidadas de color rosado a anaranjado, en parte muy limonitizadas.
Los niveles conglomerádicos genéticamente atribuidos a procesos torrenciales son macizos, con moderada clasificación, granulométricamente muy regulares, semiconsolidados. Las fracciones clásticas incluyen, dominantemente, elementos redondeados a subredondeados de tipo andesítico (afaníticos y porfidicos), densos, inalterados, muy resistentes.
Los niveles ignimbríticos incluyen tobas soldadas riolíticas, genéticamente atribuidas a avalanchas incandescentes de *nueés ardentes* o flujos de cenizas[21] y materiales de grano medio a grueso, con matriz muy cementada.
En la medida del avance hacia el oriente, los depósitos de esta formación son cubiertos por voluminosas coladas de lavas andesito – basálticas, denominadas "Lavas de Sotoca"; sobreyacen en inconformidad con estratos pre – oligocenos y subyace en paraconcordancia y localmente en discordancia angular, con la formación El Diablo.

### 6.1.3. Materiales de Empréstito

Las faenas constructivas vinculadas a la futura efectiva materialización de las diversas obras civiles contempladas en el
PCEP, objeto del presente estudio, generarán importantes demandas tanto de materiales granulares (en términos de calidad y cantidad o cubicación) para la construcción de la presa y obras anexas, como configuración directa de terraplenes, rellenos, cimientos); áridos para la preparación de hormigones de diversas calidades y enrocados para la construcción de eventuales ataguías destinadas a la desviación temporal de las aguas de la Quebrada de Aroma y defensas fluviales.
La determinación de la tipología, características granulométricas, comportamientos geotécnicos en obras y volúmenes finales demandados, estará condicionada al tipo de presa seleccionada.
A continuación, se proporcionan localizaciones y caracterizaciones de sitios y materiales que, preliminarmente, podrían satisfacer a cabalidad las diversas demandas precedentemente consignadas.

#### 6.1.3.1. Áridos y Agregados Granulares

Se estima que la producción de estos materiales, destinados a satisfacer las futuras demandas del Proyecto objeto del presente estudio, podrían ser satisfechas a partir de

[19] Conglomerado: roca que resulta de la consolidación de agregados compuestos por clastos > 2 mm de diámetro. Los clastos están ligados por la matriz, la que a su vez está ligada por cemento.
[20] Roca volcánica silícea, que configura mantos masivos y compactos integrada, principalmente, por partículas finas de vidrio, acompañadas de cristales de feldespato, cuarzo, hiperstena y hornblenda, genéticamente asociadas a actividad volcánica explosiva
[21] Este material no es precipitado como una lluvia de cenizas, sino que desciende de los faldeos de los centros eruptivos explosivos, como una avalancha caliente, donde se depositan.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

extracciones selectivas (tamizado y eliminación de fracciones finas) focalizadas en depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales que participan tanto de remanentes bien conservados de elongados segmentos de terrazas marginales, como del actual cauce de la Quebrada de Aroma, ***Qfa*** y ***Qfca***, en Figura 6.1.2.1-3, Figura 6.1.2.1-4 y Figura 6.1.2.1-5, en Plano GEO-PTN-02; En la señalada categorización se incluyen, complementariamente, depósitos francamente aluvionales que rellenan el fondo de la quebrada Sapte o San Antonio que, 380 a 410 m aguas arriba del eje de la ALT1, descarga a la vertiente Norte de la Quebrada de Aroma, (fuera de la cobertura de la Plano GEO-PTN-02, Figura 6.1.3.1-1 y Figura 6.1.3.1-2.

Esencialmente, se trata de ambientes en los cuales la gran energía hidráulica comprometida en los respectivos procesos depositacionales, condicionaron el desarrollo de potentes secuencias granulares, granulométricamente muy regulares u homogéneas, mal graduadas y seleccionadas, con moderado a bajo grado de consolidadas o cementación; la elevada ripabilidad de los depósitos condiciona su remoción mediante el simple empleo de equipo mecanizado (bulldozers, retroexcavadoras, cargadores frontales).

La totalidad de los elementos clásticos, pétreos, con predominio de materiales volcánicos (andesitas y andesitas – basálticas, afaníticas y porfídicas) se presentan inalterados, muy resistentes, con densidades estimadas de 2,6 y 2,8 ton / $m^3$.

En cuando al suministro de áridos para la preparación de hormigones de alta resistencia, no debería ser desatendida la alternativa de producirlos a partir de la trituración o chancado de "sobretamaños", correspondientes a bolones con diámetros > 20 a 25 cm, correspondientes a verdaderos "rechazos" de las plantas de proceso y tratamiento de materiales granulares, Figura 6.1.3.1-1 y Figura 6.1.3.1-2. Invariablemente, se trataría de materiales pétreos constituidos por rodados resistentes, densos, no absorbentes, estables e indivisibles.

En los depósitos granulares fluviales a fluvioluviales de terrazas marginales y actual cauce de la Quebrada de Aroma, no se registra la presencia de importantes contenidos perjudiciales de sílice amorfa, correspondiente a vidrio volcánico, ópalo y calcedonia; se trata de materiales cuya tendencia a combinarse con los álcalis de los cementos, expresados como $Na_2O$ y $K_2O$, ("Reacción álcalisis – agregado") favorece el desarrollo de agrietamientos, que destruyen o afectan la resistencia final de los hormigones.

Las demandas de volúmenes y respectivas tipologías, granulometría, características y comportamientos geotécnicos en obras de los empréstitos granulares de fluviales a fluvioaluviales provenientes de terrazas marginales y actual cauce de la Quebrada de Aroma, estará finalmente condicionada al tipo y configuración de la presa seleccionada. .

En la fotografía de la Figura 6.1.3.1-1 es incluye una Vista hacia aguas arriba por eje de quebrada Sapte o San Antonio, que 350 m aguas arriba de la ALT1, descarga al margen derecho de la Quebrada de Aroma. Extenso depósitos de materiales granulares de tipo aluvial, consistente en ripios, gravas y arenas my gruesas, sueltas, acompañadas de abundantes bloques heterocomposicionales, de diversas forma y tamaños, densos, inalados, muy rsistentes, sometidos a recurrentes removilizaciones por crecidas torrenciales, durante el invierno boliviano. Eventualmente, podrían satisfacer demandas de materiales para el diseño y materialización de una presa del tipo CFGD.

## FIGURA 6.1.3.1-1
## VISTA AGUAS ARRIBA EJE ALT 1



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 6.1.3.1-2**
**MAYOR DETALLE DEPOSITOS ALUVIALES**



Fuente: Elaboración Propia.

## 6.1.3.2. Enrocados

En la zona objeto de estudio, a adecuadas distancias de transporte, se registra una ausencia de materiales rocosos adecuados para la "producción" de este tipo de materiales. Esta condición tiene directa relación con el compromiso de un ambiente geológico con dominio de depósitos sedimentarios continentales y volcánicos de tipo piroclásticos; los primeros representados por complejas secuencias con granulometrías en el rango de conglomerados aluvionales a limolitas y limolitas arcillosas de tipo lacustres, mientras que los segundos a extensos flujos integrados por materiales piroclásticos, ignimbritas, ignimbritas tobáceas y tobas francas.

Independiente de sus respectivas características litológicas, se trata de materiales que, en función de sus densidades, dureza y estabilidad, no cumplirían a cabalidad con las

especificaciones técnicas impuestas para su utilización con materiales de enrocados en obras de riego: presas, ataguías, deflectores, protecciones de paramentos y defensas fluviales.
Frente a la carencia a distancias convenientes de materiales rocosos alternativos, para satisfacer eventuales suministros de enrocados para la configuración de ataguías temporales involucradas en el control (desvío) temporal del actual cauce de la Quebrada de Aroma, durante las faenas constructivas de la presa del PCEP, no debería ser desatendida la alternativa evaluar su extracción a partir de rocas brechosas, macizos, bastante densas, inalteradas, poco fracturadas, semiconsolidadas, expuestas en torno al apoyo izquierdo de la ALT2, Figura 6.1.3.2-1, en Plano GEO-PTN-02. En este caso, las señaladas actividades deberían incluir una rigurosa zonificación previa de los materiales y posterior rigurosa planificación de las voladuras, (diagramas de disparos y tipo y energía de las "cargas" de explosivos), orientadas a garantizar la efectiva producción de bloques con tamaños, formas y pesos, compatibles con las exigencias para su uso como enrocados.
En la Figura 6.1.3.2-1 se muestra un segmento basal de la ladera izquierda de la Quebrada de Aroma, inmediatamente aguas abajo del estribo de la ALT2. Expone rocas brechosas, petrográficamente uniformes, densas, inalteradas, resistentes, geomecánicamente competentes; adecuadas para satisfacer eventuales demandas de enrocados para la construcción de presas, ataguías para el desvío temporal del cauce de la Quebrada de Aroma y/o estructuras de protección.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## FIGURA 6.1.3.2-1
## SEGMENTO BASAL LADERA IZQUIERDA QUEBRADA AROMA



Fuente: Elaboración Propia.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

### 6.1.4. Análisis Morfogeológico, Estructural y Geotécnico de Alternativas

Importa señalar que el conocimiento del carácter geológico, estructural y evaluación del comportamiento geotécnico de los materiales comprometidos en los emplazamientos de los estribos de cada una de las 3 alternativas del proyecto objeto de análisis se sustentó, exclusivamente, en observaciones superficiales directas, centradas en exposiciones de las secciones basales de las respectivas laderas de la Quebrada de Aroma. Esta condición derivó de las limitaciones topográficas del terreno local para acceder con equipos de perforación, a objeto realizar sondajes de prospección.

De acuerdo a ello, la totalidad de los 9 sondajes de prospección (con profundidades medias de 30 m) se ubicaron sobre la llanura de inundación del fondo de la Quebrada de Aroma.

La señalada dificultad imposibilitó la confiable determinación del carácter y continuidad en profundidad y sentido lateral del plano o superficie de rotura de la sección basal de los materiales (contacto suelo / roca) que, en la sección basal de las empinadas laderas de la Quebrada de Aroma, participan de la masa desplazada por las mega remociones MrAN y MrAS, en Plano GEO-PTN-02.

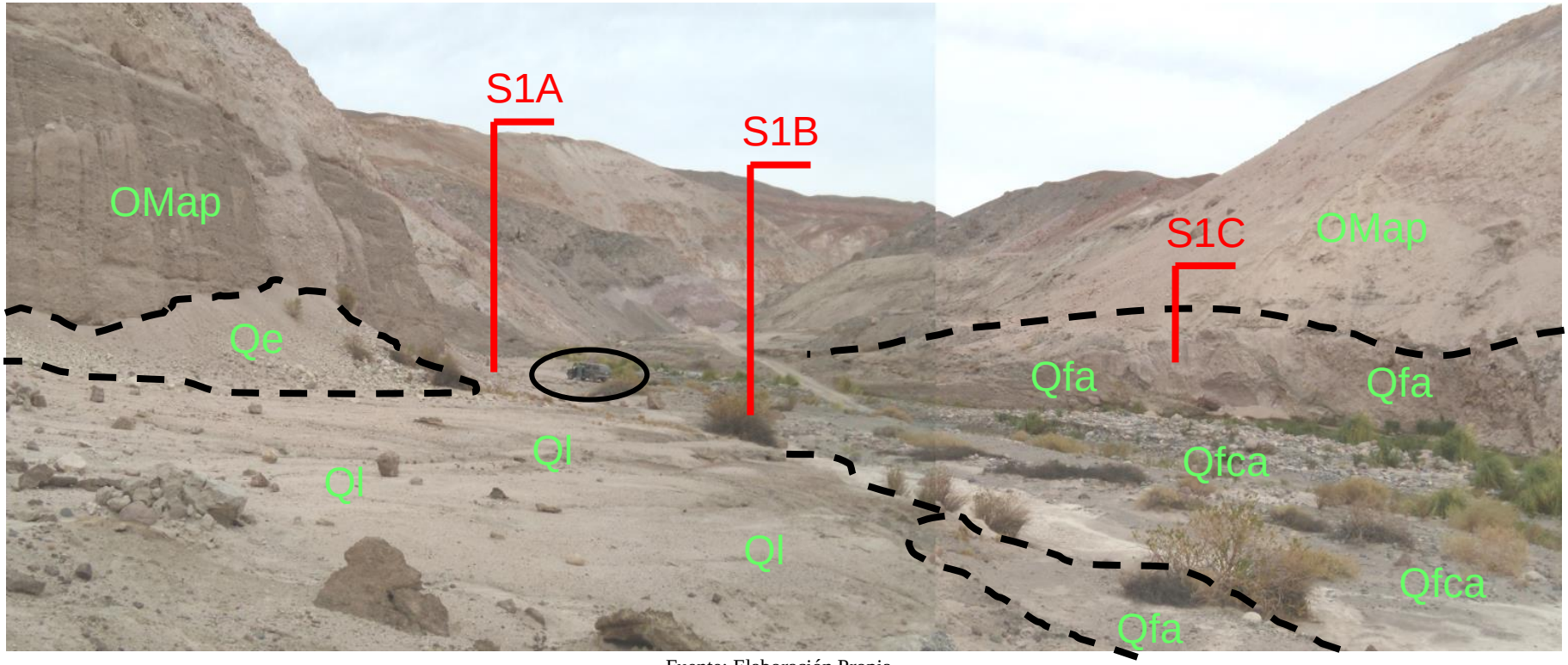
#### 6.1.4.1. Alternativa ALT1

El perfil geológico 1, A – B, en la Plano GEO-PTN-02 da cuenta de una sección transversal bastante simétrica que, en su sección basal llana de 80 m de ancho, alberga la llanura de inundación de la Quebrada de Aroma, constituida por una compleja mezcla de depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales integrados por ripios, gravas y arenas, sueltas, bastante porosas y permeables, Figura 6.1.2.1-5, Figura 6.1.4.1-1 y Figura 6.1.4.1-2 en Plano GEO-PTN-02.

El registro de los 3 sondajes de prospección perforados a lo largo del eje de esta alternativa, determinaron espesores de 2 a 5, m para el relleno sedimentario; incluye una compleja secuencia granular maciza, inconsolidada, constituida por ripios, gravas y arenas con escasos finos cohesivos, muy porosos y permeables.

Los elementos clásticos, bien redondeados a subredondeados incluyen, dominantemente, andesitas, andesitas – basálticas afaníticas y porfídicas, junto a menor cantidad de brecha, tobas y areniscas, bastante densas, inalteradas, con moderadas a altas resistencias. Se trata de sedimentos geológicamente asociados cauces antecesores de la actual Quebrada de Aroma.

**FIGURA 6.1.4.1-1**
**PANORÁMICA CON VISTA HACIA AGUAS ABAJO DE SECCIÓN TRANSVERSAL POR EJE DE ALT1**




Fuente: Elaboración Propia.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

Como se observa en la Figura 6.1.4.1-1, ambas laderas de la quebrada están conformadas por una secuencia bastante bien estratificada horizontalmente de bancos alternantes de conglomerados muy gruesos y finos, areniscas gruesas y areniscas francas, consolidados a semi consolidados, subyacentes a ignimbritas macizas rosadas, semiconsolidas; en su conjunto, la secuencia piroclástica - sedimentaria ha sido asignada a la formación Altos de Pica, ***OMap***, en Lámina GEO - PTN 02. ***Qca*** = Llanura de inundación del actual cauce de la Quebrada de Aroma; ***Qfa*** = Depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales de terrazas marginales bajas; ***Ql*** = Depósitos lacustres y ***Qe*** = Coluvio o escombreras de laderas. Se indican ubicaciones de sondajes S1A, S1B y S1C. Camioneta ubicada en torno al sondaje S1A, proporciona escala.

**FIGURA 6.1.4.1-2**

**VISTA SECCIÓN BASAL DE LADERA DERECHA DE LA QUEBRADA DE AROMA**




Fuente: Elaboración Propia.

La vista incluida en la Figura 6.1.4.1-2 correspondiente a terrenos comprometidos en el emplazamiento del estribo derecho de la ALT1. La sección media y basal está integrada por una secuencia maciza de ignimbritas grisáceas a gris claro, semiconsolidadas, dispuestas horizontalmente en bancos continuos o regulares; subyacen concordantemente, de modo


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

extensivo, a una potente secuencia maciza a pobremente estratificada de ignimbritas rosadas. En el sector, el conjunto de la secuencia expuesta ha sido atribuido a la formación Altos de Pica, ***OMap***, discontinuamente enmantada por depósitos coluviales moderadamente estabilizados. Persona situada en torno al punto del sondaje S1C.

Como se aprecia en la Figura 6.1.4.1-3, la sección basal de la secuencia sedimentaria local, consiste en depósitos litológica y estructuralmente muy regulares, bien estratificados, dispuestos horizontalmente; consisten en gravas y gravas arenosas de tipo aluvial, color gris, en zonas algo conglomerádicas, semi consolidadas, grises; en discontinuos sectores, incluyen abundantes "bolones" y lentes de ripios y gravas, con escasa matriz fina y moderada a baja litificación, propios de flujos torrenciales de gran energía, que rellenan elongados paleocanales de extensión métrica; la secuencia subyace concordantemente a bancos macizos integrados por una compleja mezcla de fragmentos ignimbríticos rosados de diversa forma y tamaño, moderadamente "soldados" o consolidados que, ladera arriba, gradan a una secuencia maciza ignimbrítica, con menor competencia geomecánica que culmina con la actual superficie de erosión. El conjunto de los materiales de esta secuencia expuestos en el sector, han sido atribuidos a la formación Altos de Pica, ***OMap***, en Lámina GEO-PTN-02. En el sector, la totalidad de la sección sedimentaria expuesta, posee una moderada a alta ripabilidad (excavación mecanizada). En el extremo inferior izquierdo de la Fotografía, la persona se ubica sobre el punto del sondaje S1A, correspondiente al estribo Izquierdo de la ALT1.

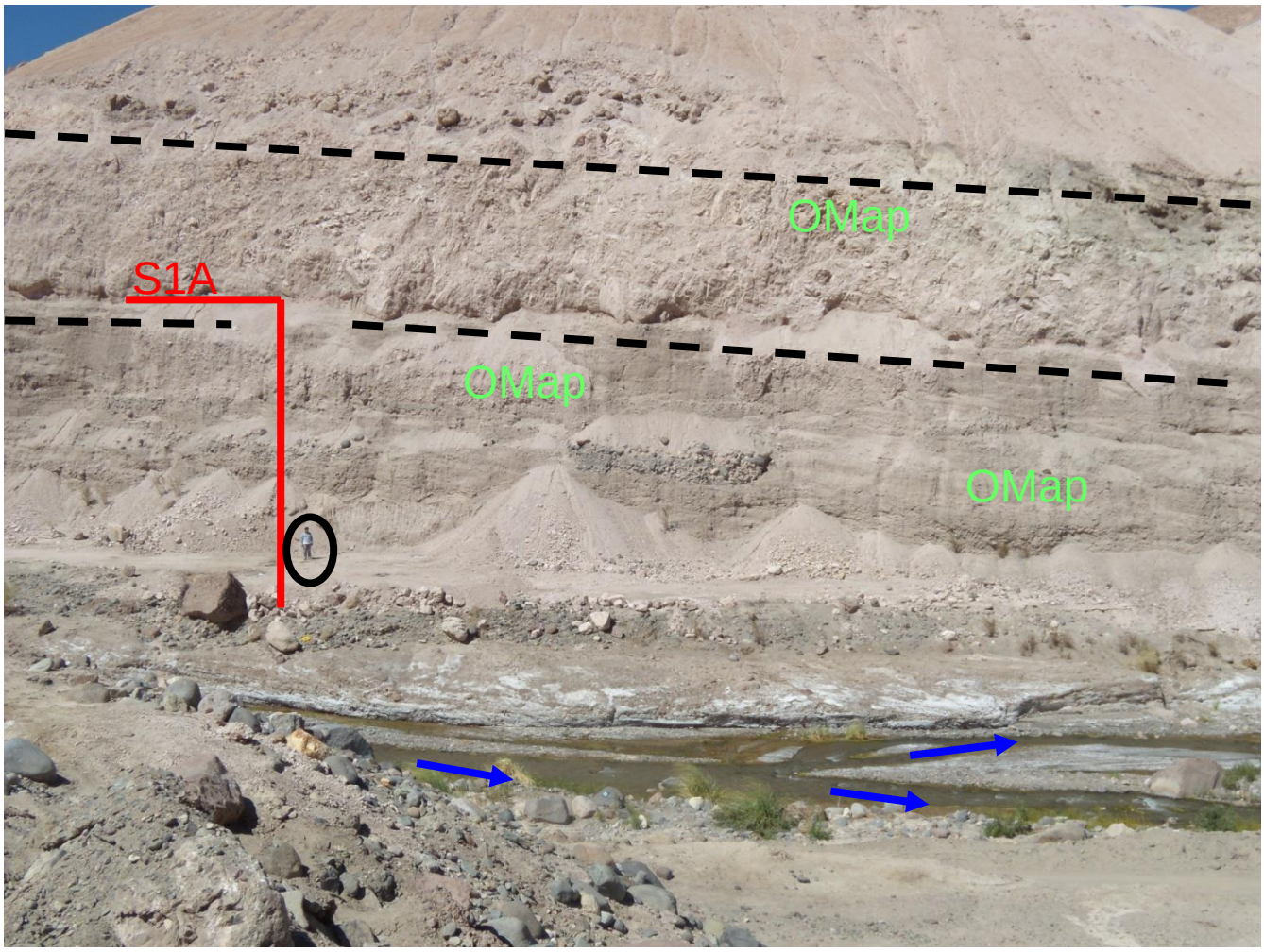
En la Figura 6.1.4.1-4 se incluye detalle de la sección sedimentaria granular de tipo flluvial a fluvioaluvial, atribuida a la formación Altos de Pica, ***OMap***, en Lámina GEO – PTN – 02. En el sector, el desarrollo de un talud vertical estable, da cuenta de la presencia de materiales bien consolidados, densos y resistentes, geomecánicamente competentes. ***Qfa*** = Depósitos fluviales a fluvioaluviales de terraza marginal de Quebrada de Aroma. La persona se ubica sobre el punto del sondaje S1A, correspondiente al estribo izquierdo de la ALT1.

Ensayes Lefranc – Mandel determinaron para dichos materiales permeabilidades de carga constante de 1,044 – 1,78 x $10^{-5}$ m/s.

El apoyo o estribo derecho de está constituido por una secuencia regular, maciza a pobremente estratificada de conglomerados, conglomerados brechosos e ignimbritas, asignados a la formación Altos de Pica, OM***ap***, en Plano GEO-PTN-02, discontinuamente enmantados por depósitos de escombreras de laderas de cerro y coluvios, Figura 6.1.2.1-2.

**FIGURA 6.1.4.1-3**
**VISTA HACIA ESTRIBO IZQUIERDO DE ALT1**


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*




Fuente: Elaboración Propia.

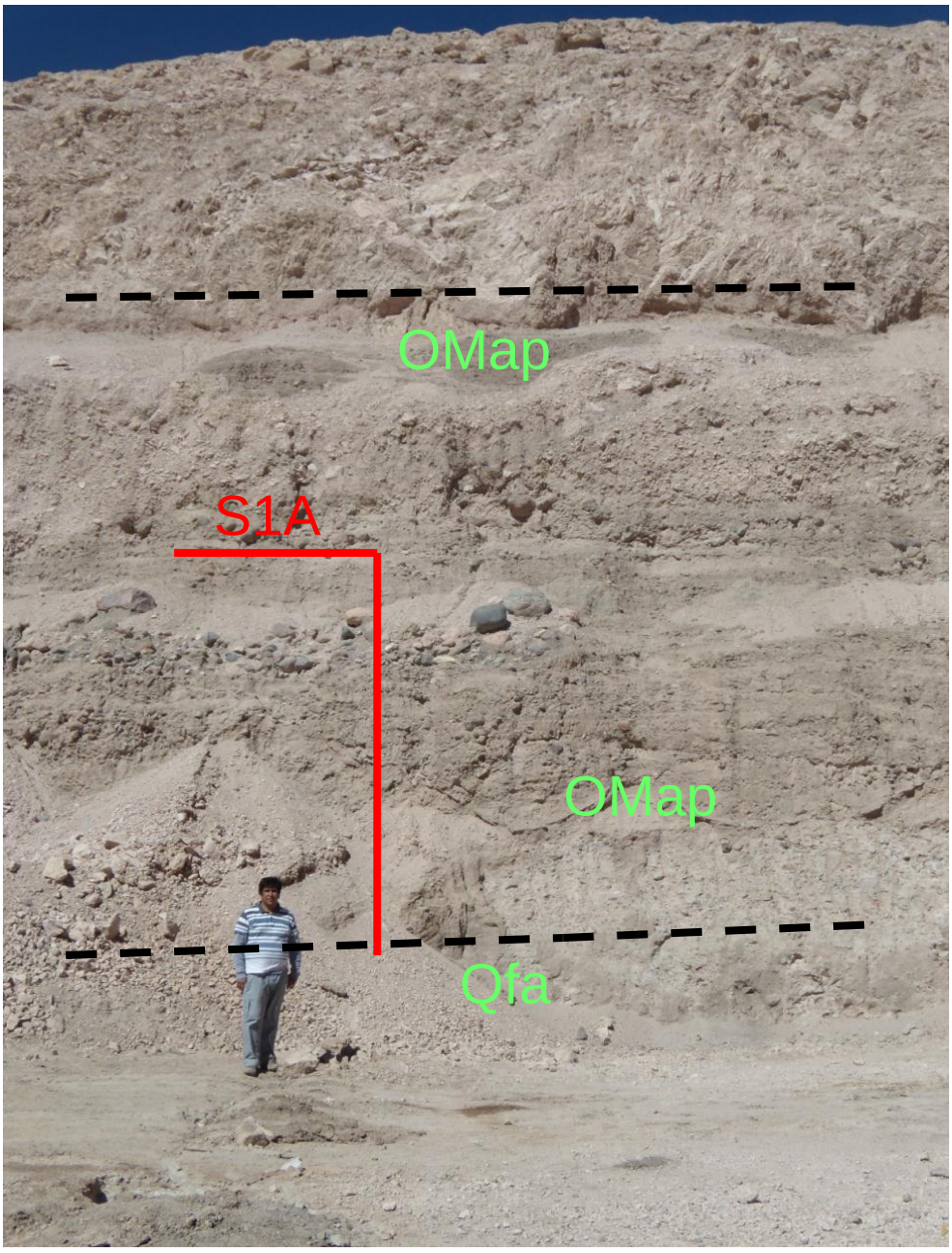
Mientras tanto, la sección basal de la vertiente Sur de la Quebrada de Aroma, comprometida en el emplazamiento del estribo izquierdo de la ALT1, está constituida por una secuencia regular maciza a pobremente estratificada de conglomerados a conglomerados a conglomerados, semiconsolidados, asignados a la formación Altos de Pica, ***OMap***, Figura 6.1.4.1-3 y Figura 6.1.4.1-4, en Plano GEO–PTN-02.

Conforme a ello, se estima que estos materiales participarían del basamento rocoso que alberga el relleno sedimentario granular de tipo fluvial a fluvioaluvial del fondo de la Quebrada de Aroma (Perfil geológico A – B, en Plano GEO–PTN-02).

En sector, el grado de consolidación de los materiales de la formación Altos de Pica, favorecen la configuración de taludes naturales, subvertical, bastante estable, Figura 6.1.4.1-3 y Figura 6.1.4.1-4.

**FIGURA 6.1.4.1-4**
**MAYOR DETALLE DE LA SECCIÓN SEDIMENTARIA**


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*




Fuente: Elaboración Propia.

### 6.1.4.2. Alternativa ALT2

El perfil geológico 2, C – D, en Plano GEO-PTN-02, da cuenta de un sección transversal bastante asimétrica que, en su sección basal alberga una estrecha llanura de inundación de sólo 25 m de ancho, que alberga el actual cauce de la Quebrada de Aroma.
El registro de 3 sondajes de prospección efectuados a lo largo del eje de esa alternativa, permitió determinar espesores de 0,4 a 5,0 para el relleno sedimentario granular fondo de la Quebrada de Aroma. Está constituido por una compleja mezcla suelta de depósitos sedimentarios granulares


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

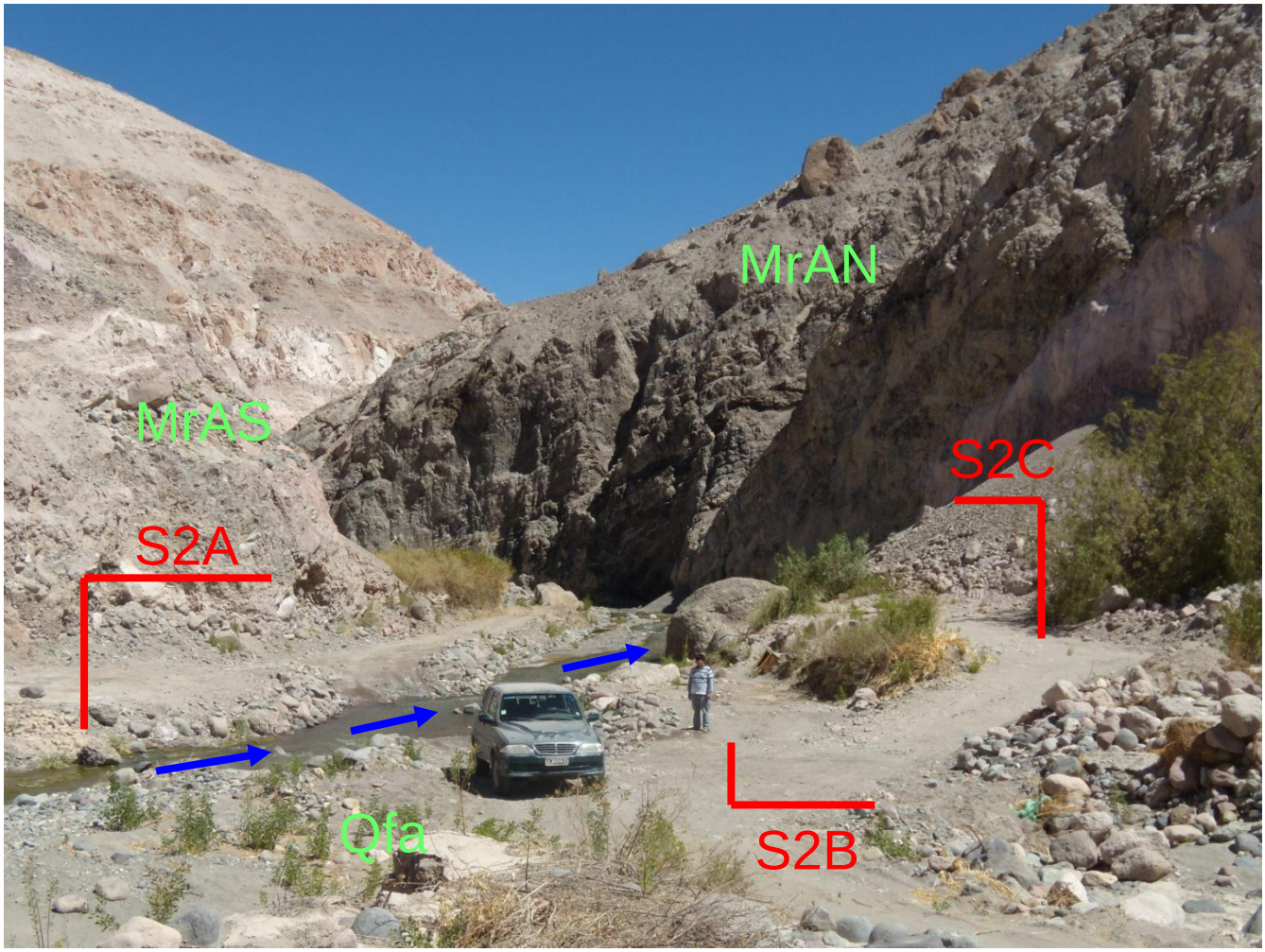
fluviales a fluvioaluviales correspondientes a ripios, gravas y arenas muy gruesas, con escasos finos cohesivos), porosos, Qfa, Figura 6.1.4.2-1, en Plano GEO-PTN-02.

En la Figura 6.1.4.2-1 se incluye una vista hacia aguas abajo por eje Quebrada de Aroma, correspondiente a la sección transversal según el eje de la ALT2. MrAN = Materiales de Mega Remoción en Masa Aroma Norte. MrAS= Materiales de Mega Remoción en Masa Aroma Sur. Qfa = Depósitos granulares, inconsolidados de tipo fluvial a fluvioaluvial. Se indican sitios de sondajes S2A, S2B y S2C.

El apoyo o estribo derecho de la AT2, está constituido por una compleja mezcla integrada de bloques de diversa forma, tamaño y composición, muy bien estratificados de conglomerados, conglomerados brechosos, areniscas e ignimbritas, inmersos en una matriz integrada por rodados, gravas y arenas muy gruesas; en su conjunto, se trataría de materiales que participan de la masa móvil del l erosionado frente lobular de la Mega Remoción en Masa Aroma Norte, ***MrAN***, Figura 1.5.3-2, en Plano GEO-PTN-02. El discontinuo carácter geomecánico de los materiales, sometidos a recurrentes desprendimientos de rodados esféricos, densos, muy resistentes, desagregados de bloques conglomerádicos, favorece el desarrollo de un talud muy irregular e inestable.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.1.4.2-1**
**VISTA HACIA AGUAS ABAJO POR EJE QUEBRADA DE AROMA ALT2**




Fuente: Elaboración Propia.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.1.4.2-2**
**APOYO DERECHO ALT2**




Fuente: Elaboración Propia.

La pared, que se muestra en la Figura 6.1.4.2-2, está conformada, mayoritariamente, por un voluminoso bloque de rocas clásticas continentales, mal seleccionadas, integrada por bancos bien estratificados, oscuros de depósitos conglomerádicos en zonas levemente aglomerádicos, que presentan arreglos clastosoportados, cemento blanco arcilloso o calcáreo, con delgadas intercalaciones Láminares de areniscas muy gruesas oscuras y areniscas limosas a francamente limosas, blanquecinas, en sectores, levemente deformadas. El bloque en cuestión, atribuido (?) a materiales de la formación El Diablo, inmerso en la masa de materiales desplazados por la Mega Remoción en Masa Aroma Norte, MrAN, en Plano GEO-PTN-02, se dispone de acuerdo a un rumbo general N 45 a 50° E e inclinación de 65 a 0° al S0. Escala: Persona de 1.75 m de altura.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

Mientras tanto, los terrenos involucrados en el emplazamiento del estribo izquierdo de la ALT2, están constituidos por una compleja mezcla de bloques, bolones y clastos de diversos tamaños, formas (angulosos a subredondeados) y composiciones (brechas, ignimbrita) inmersos en una abundante matriz de gravas y gravillas, semiconsolidadas, inmersos en las masas desplazadas que participan del actual erosionado frente lobular de la Mega Remoción en Masa Aroma Sur, ***MrAS***, Figura 6.1.4.2-1, en Plano GEO-PTN-02.

## 6.1.4.3. Alternativa ALT3

El perfil geológico 3, E – F, en Lámina GEO-PTN-02, da cuenta de una configuración transversal muy asimétrica, que en su sección basal alberga una estrecha llanura de inundación de sólo 20 m de ancho. Figura 6.1.4.2-2.

El registro de 3 sondajes de prospección perforados en la llanura de inundación detectó espesores de 4,5 a 5,0 m para el relleno sedimentario del fondo de la Quebrada de Aroma; está constituido por una secuencia granular, maciza de ripios, gravas y gravillas, "limpias", con abundantes bloques de diversa forma y tamaño, desprendidos desde las empinadas laderas marginales de la Quebrada de Aroma.

Los elementos clásticos, bien redondeados a subredondeados incluyen, dominantemente, andesitas, andesitas – basálticas afaníticas y porfídicas, junto a menor cantidad de brecha, tobas y areniscas, bastante densas, inalteradas, con moderadas a altas resistencias. Se trata de sedimentos geológicamente asociados cauces antecesores de la actual Quebrada de Aroma.

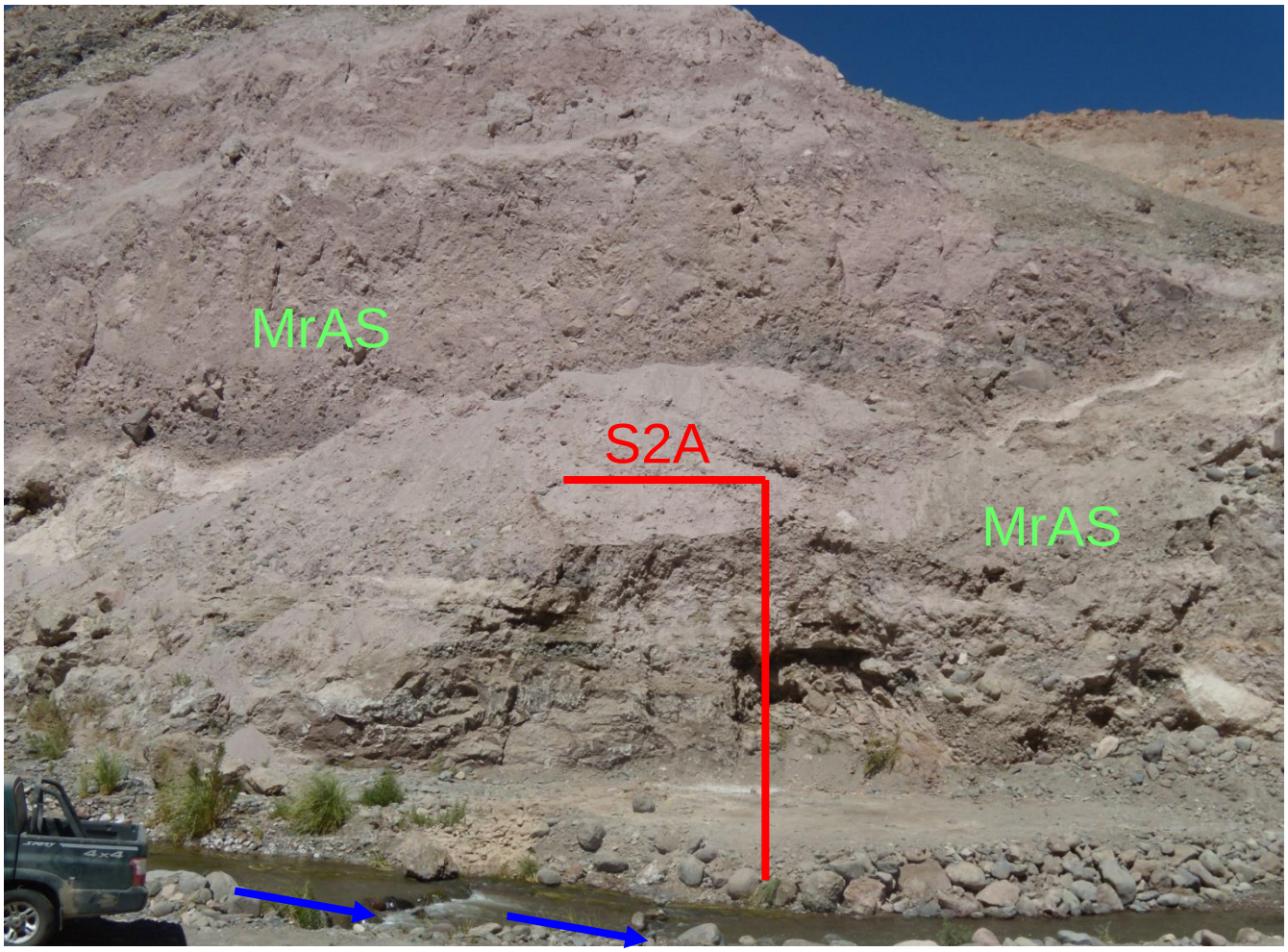
La presencia de bloques de gran tamaño (4,5 a 5,0 m de diámetro) incorporados en la secuencia granular del relleno del fondo de la Quebrada de Aroma, determinaría que las faenas de excavación, involucradas tanto en la preparación de las fundaciones de la presa, como la eventual aplicación de un tratamiento de estanqueidad mediante pared moldeada, forzará su remoción mediante tronaduras secundarias, ("*cachorreo"*).

En su conjunto, configuran una secuencia suelta, muy porosa, permeable. Ensayes de Lefranc – Mandel, dieron una permeabilidad de carga constante de $2.00 \times 10^{-6}$ m/s.

En el sector, la vertiente Norte de la Quebrada de Aroma, involucrada en el apoyo derecho de esta alternativa, está conformada por una secuencia maciza de materiales granulares, semi consolidados, que participan de un segmento del erosionado frente lobular de la Mega Remoción en Masa Aroma Norte ***MrAN,*** Figura 6.1.4.3-1, en Plano GEO-PTN-02. El discontinuo carácter litológico y comportamiento geotécnico de los materiales comprometidos en el emplazamiento del apoyo derecho de esta alternativa, sometidos a recurrentes desprendimientos de bolones, gravas y arenas muy gruesas, favorece el desarrollo de un talud muy irregular e inestable; en el sector, la secuencia sedimentaria se observa discontinuamente recorrida por un penetrativo patrón fracturas rectas, dispuestas subverticalmente, que favorecen el desprendimiento de bloques, controlados por mecanismos de "cuñas".

**FIGURA 6.1.4.3-1**
**APOYO IZQUIERDO DE ALT2**


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*



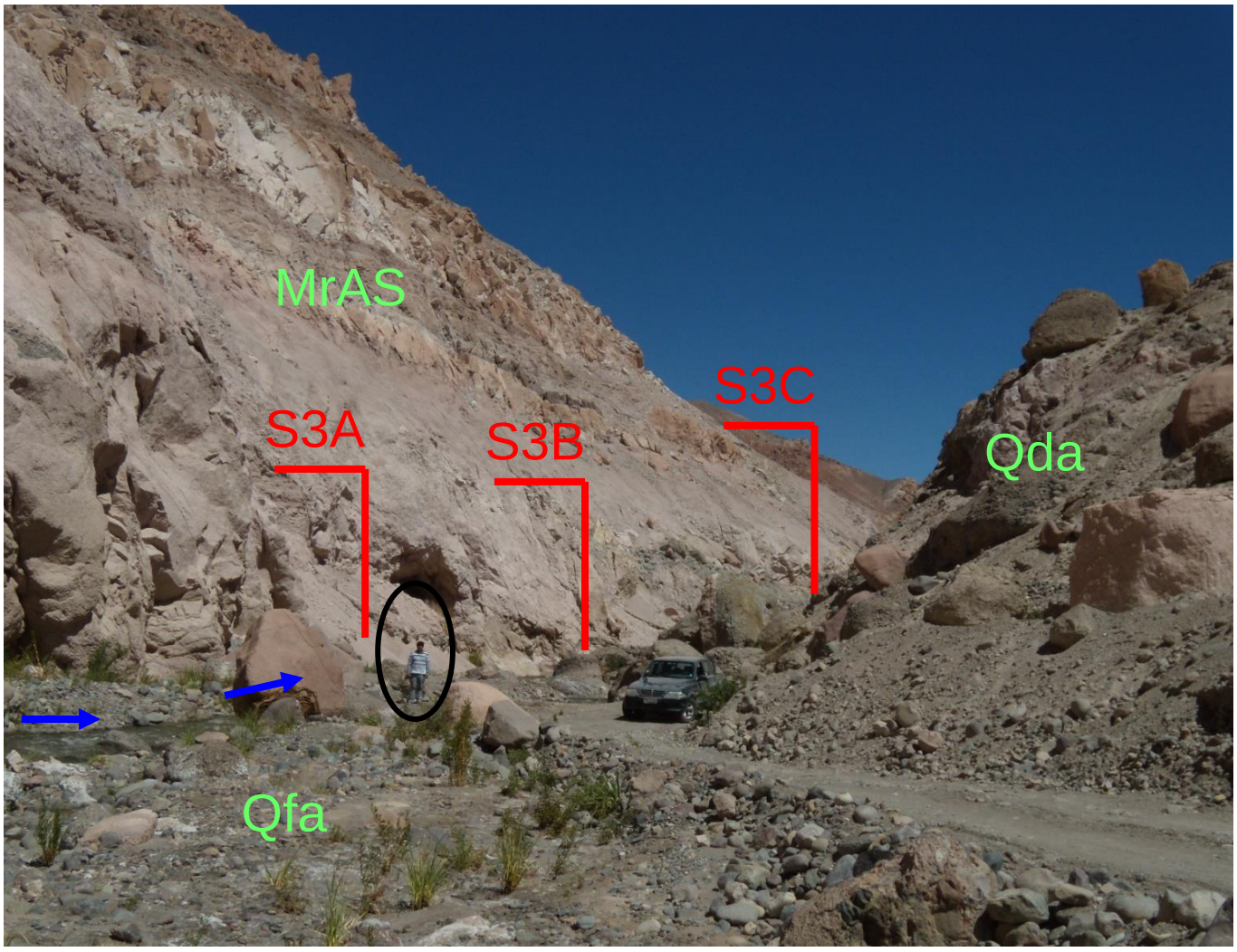

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.1.4.3-1 se observa el apoyo izquierdo de ALT2. En este sector, el erosionado frente lobular de la Mega Remoción en Masa Aroma Sur, ***MrMS***, en Lámina GEO - PTN 02, expone una compleja secuencia maciza, semi consolidada que en su sección basal está integrada por fragmentos rocosos de diversa forma, tamaño y composición; la sección media incluye un lente ignimbrítico blanquecinos a rosado, subyacente a depósitos conglomerádicos a aglomerádicos de color rosado, bastante sueltos e inestables que, en el sector, culminan con la actual superficie de erosión. Se indica sitio de sondaje S2A.

**FIGURA 6.1.4.3-2**

**VISTA HACIA AGUAS ABAJO POR QUEBRADA DE AROMA**


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*




Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.1.4.3-2 se incluye una vista hacia aguas abajo por Quebrada de Aroma. Sección transversal bastante asimétrica de ALT 3. En apoyo derecho se observa activo desarrollo de remociones en masa, representadas por desprendimientos de bloques heterocomposicionales, con tamaños máximo de 2,5 a 3,0 m, junto a rodados andesíticos, densos y resistentes; en el sector, desarrollan coluvios o "flujos secos", Qe y ***Qda***, respectivamente, integrados, mayoritariamente, por bolones subesféricos "desagregados", a partir de empinadas paredes constituidas por depósitos conglomerádicos, semiconsolidados, localmente fracturadas y alterados. Se de materiales inmersos en el frente lobular de la masa desplazada por la Mega Remoción en Masa Arom Norte, ***MrAN***, en Plano GEO-PTN-02. La sección basal de la empinada ladera izquierda de la Quebrada de Aroma, expone brechas a brechas tobáceas, grises a rosadas, macizas; en el sector, el penetrativo fracturamiento local, favorece el activo desarrollo de desprendimientos de bloques controlados por mecanismos de "cuñas"; en su conjunto, se trataría de materiales inmersos en el frente lobular de la masa desplazada por la Mega Remoción en Masa Aroma Sur, ***MrAS***, en Plano GEO-PTN-02. ***Qfa*** = Depósitos fluviales a fluvioaluviales del actual cauce de Quebrada de Aroma. Se indican sitios de sondajes S3A, S3B y S3C. Escala: Persona de 1.75 m de altura.

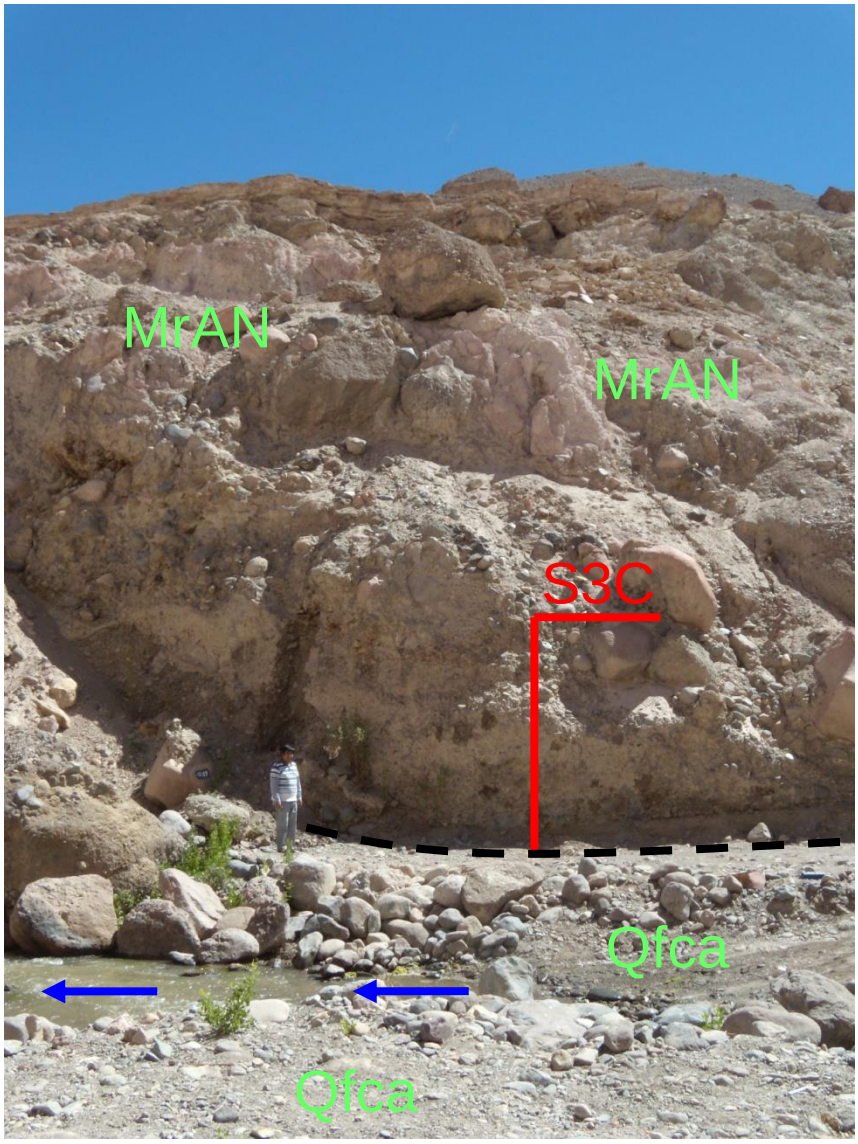

*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

La Figura 6.1.4.3-3 incluye una vista del apoyo derecho de la ALT 3. Expone una compleja secuencia maciza a moderadamente estratificada de depósitos conglomerádicos integrados por bloques y bolones con tamaños máximos de 1,2 a 1,4 m y medios de 0,2 a 0,3 m, inmersos en una abundante matriz de areniscas muy gruesas y material ignimbrítico rosado, en zonas levemente puverulento; el cemento consiste en arcillosas y cinerítas; conjunto semi consolidado; los elementos clásticos son redondeados a subredondeados, mayoritariamente andesíticos, afaníticos y porfídicos, densos, inalterados, muy resistentes. Se trata de materiales que, en el sector, participan de la masa desplazada que participa del frente lobular de la Mega Remoción en Masa Aroma Sur, ***MrAN***, en Plano GEO-PTN-02. En el sector, la secuencia desarrolla un talud natural muy irregular e inestable, favorable al recurrente desarrollo de desprendimientos de bolones y clastos redondeados. ***Qfca*** = Depósitos fluviales a fluvioaluviales del actual cauce de la Quebrada de Aroma. Se indica punto de sondaje S3C.

Mientras tanto, la sección basal de la ladera Sur correspondiente al sitio de emplazamiento del estribo izquierdo de la ALT3 está constituida por una compleja mezcla maciza, semiconsolidada de bloques conglomeráricos, integrados por rodado de diversas formas y tamaños, inmersos en una matriz de arenas muy gruesas que, en su conjunto, participan de un segmento del erosionado frente lobular de la Mega Remoción en Masa Aroma Sur, ***MrAS***, en Plano GEO-PTN-02. El discontinuo carácter geológico (heterogeneidad litológica y granulométrica) y comportamiento geotécnico (controlado por alteración y erosión diferencial) de estos materiales, determina el desarrollo de un talud natural inestable, sometido a permanentes desprendimientos.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.1.4.3-3**
**APOYO DERECHO DE ALT 3**




Fuente: Elaboración Propia.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## 6.1.5. Conclusiones y Selección de Alternativas.

## 6.1.5.1. Alternativa 1

El Perfil A – A´, en Plano GEO-PTN-02, trazado a lo largo del eje de la ALT1, configura una sección transversal bastante asimétrica, exenta de irregularidades topográficas mayores.
La prolongada actividad erosiva de tipo fluvial a fluvioaluvial sobre el segmento basal de las laderas de la Quebrada de Aroma, involucradas en el emplazamiento de los estribos de la ALT1, ha favorecido el desarrollo de taludes naturales estables, exentos de perturbaciones o dislocaciones impuestas por mega remociones en masa, reconocidas inmediatamente aguas abajo.
Conforme a ello, se trata de terrenos que participan de un ambiente morfogeológico geotécnicamente competente y estable, favorable al emplazamiento de la presa y obras anexas de la ALT1 del Proyecto.
Independiente de la tipología de presa seleccionada para la ALT1, la continuidad geológica - estructural y aceptable comportamiento geotécnico de los materiales comprometidos en ambos estribos, supone una baja probabilidad que las excavaciones vinculadas a la preparación de las respectivas fundaciones, provoquen modificaciones substanciales en el actual estado tensional y condición de equilibrio local.
Se estima que en ambos estribos de la ALT1, la aceptable ripabilidad del terreno local, condicionará que las excavaciones involucradas en la preparación de sus respectivas fundaciones, podrán ser ejecutadas recurriendo al simple empleo de equipo mecanizado: "picotón", buldozers, retroexcavadoras; este carácter excluye la aplicación de técnicas de tronaduras.
Para los cortes temporales o permanentes involucrados en las excavaciones preparatorias de los estribos de la presa de la ALT1, se estiman taludes estables del tipo 1:3 a 1:4 (H:V). El desarrollo de Inestabilidades focalizadas podrían demandar: tendido de los taludes originales y/o incorporación de bancos o escalones intermedios e, instalación puntual o sistemática de pernos de anclaje, afianzados a terrenos geomecánicamente competentes; eventualmente, complementada con la colocación permanente o temporal de mallas metálicas, con capas de hormigón proyectado, *shotcrete*.
Los sondajes de reciente ejecución perforados en el relleno sedimentario granular de tipo fluvial a flluvioaluvial del fondo de la Quebrada de Aroma, detectaron espesores medios de 1,3 m, correspondientes a complejas mezclas granulares macizas de ripios, gravas y arenas con moderada a alta permeabilidad. Los elementos clásticos mayores, redondeados a subredondeados, incluyen, dominantemente, especies volcánicas (andesitas y dacitas), volcanoclásticas (aglomerados, brechas y tobas) y sedimentarias (conglomerados, areniscas, lutitas); en todos los casos, se trata de clastos densos, inalterados, muy resistentes.
Esencialmente, corresponderían a suelos anisotrópicos en su distribución espacial (sentido lateral y profundidad), provistos de propiedades geotécnicas muy variables, controladas por la heterogeneidad granulométrica.
Se estima que la presencia de una amplia llanura de inundación unida al desarrollo de un actual cauce estable, bien enmarcado entre remanentes de terrazas marginales fluviales a fluvioaluviales, favorecería el efectivo control o desvío temporal del cauce de la Quebrada de Aroma, aún en situación de crecidas, durante las faenas de tratamiento de estanqueidad y construcción de las fundaciones de la presa.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

Tres sondajes perforados a lo largo del eje de la ALT1, permitieron establecer que el relleno sedimentario granular del fondo de la Quebrada de Aroma, sobreyace a basamento rocoso conglomerádico, asignado a la formación Altos de Pica. Está representado por una regular y continua secuencia maciza, litológicamente bastante homogénea; compromete materiales consolidados a semiconsolidados, con escaso grado de alteración y fracturamiento.
A todo lo ancho de la llanura de inundación de la ALT1, los niveles estáticos del agua subterránea en los depósitos fluviales a fluvioaluviales, se situarían próximos a la cota del espejo agua en el cauce de la quebrada.
A nivel superficial, en los sitios de apoyo de la presa de la ALT1 y su respectivos entornos inmediatos, no se registra la presencia de rasgos morfológicos o elementos estructurales, genéticamente atribuibles a movimientos lentos del tipo reptaciones, en situación de provocar deformaciones, expresadas en el desarrollo de grietas de tracción, acompañadas de elementos estructurales como fracturas o fallas; conforme a ello, se trataría de terrenos estables, geomecánicamente competentes.
En el sitio de emplazamiento de la ALT 1, el ancho de la sección basal o llanura de inundación de la Quebrada de Aroma, facilitaría el efectivo control o desvío de las aguas durante la ejecución de los procedimientos de sello de las fundaciones de la presa; ello, aún en situación de crecidas extremas, durante el "invierno boliviano"; en el sector, evidencias depositacionales y erosivas, discontinuamente expuestas a todo lo ancho de la llanura de inundación, dan cuenta de los alcances y magnitud de recientes crecidas históricas de la Quebrada de Aroma.

### 6.1.5.2. Alternativas 2 y 3

En el segmento que albergaría las obras de las alternativas ALT2 y ALT3, el actual cauce de la quebrada Aroma escurre de acuerdo a un desarrollo sinuoso, lateralmente confinado por empinadas e inestables laderas integradas por materiales semiconsolidados, correspondientes a una compleja secuencia maciza de bloques, fragmentos rocosos y rodados inmersos en matrices granulares de ripios grava y arenas, que participan de lo erosionados frentes lobulares de dos voluminosas mega remociones en masa, remociones ocurridos en el pasado geológico, 3 millones de años antes del presente, (***Letelier***, 20013), identificados como Mega Emociones en Masa Aroma Norte y Sur, ***MrAN*** y ***MrAS***, en Plano GEO-PTN-02.
La activa condición inestable de los terrenos locales, está representada por la recurrente ocurrencia de extensivas remociones del tipo desprendimientos de rodados y bloques y derrames coluviales, que les imprimen al conjunto un dudoso carácter y comportamiento geomecánico. En todos los casos, los factores desencadenantes de las inestabilidades corresponden a solicitaciones impuestas por sismos corticales, episodios pluviales de intensidad extrema y crecidas torrenciales interanuales de la quebrada; en este último caso, la erosión hídrica desencadenante, se concentra en torno a los frentes lobulares de los coluvios sueltos, acopiados gravitacionalmente al pié de las empinadas laderas locales, por episodios antecesores.
El carácter macizo, (representado por la carencia de estratificación en el cuerpo o masa de las mega remociones) unida a la irregularidad geológica, granulométrica, estructural y geomecánica de los megabloques, fragmentos rocosos y matriz que participan de sus respectivas composiciones, condicionan la heterogeneidad geológica y comportamiento geomecánico (grado de consolidación, anisotropismo, resistencia, coherencia, deformabilidad y capacidad de soporte) e hidráulico (porosidad y permeabilidad) del conjunto.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

En el segmento de la Quebrada de Aroma objeto de ocupación para el emplazamiento de las ALT2 y ALT3, la gran diferencia entre las resistencias de los megabloques y el resto de los componentes de las masas desplazadas por las mega remociones ***MrAN*** y ***MrAS***, puede, incluso, llegar a gobernar su comportamiento geomecánico.

En el señalado medio físico, las excavaciones involucradas en la materialización de las fundaciones de los respectivos estribos de las presas de las ALT2 y ALT3, suponen la frecuente ocurrencia focalizada de repentinas remociones en masa de diversas magnitudes (volúmenes) y alcances, del tipo desprendimientos, deslizamientos, avalanchas de rocas y flujos detríticos húmedos, gatillados por episodios pluviales de intensidad extrema y/o solicitaciones sísmicas; las zonas de "despegue" o "arranque" de dichas remociones, se concentrarían en discontinuas sectores de empinadas paredes naturales o creadas por excavaciones, conformadas por materiales (suelos y bloques rocosos) inconsolidados a semiconsolidados, parcialmente meteorizados, recorridos por continuas y penetrativas fracturas.

En los señalados casos, e independiente del carácter de la tipología de las respectivas remociones, se asume que el efectivo y definitivo control de estabilizaciones podría demandar complejos y costosos procedimientos, incluyendo:

Ejecución de rigurosas faenas previas de "desquinche" o "acuñamiento", manual o mecanizado, destinadas a inducir el desprendimiento de materiales (suelos y rocas) en actual situación de equilibrio crítico, concentradas tanto en laderas con fuerte empinamiento, como taludes de cortes en progreso, tendido de taludes de diseño, incorporación de bancos o escalones intermedios, colocación puntual o sistemática de pernos de anclaje convenientemente afianzados a terrenos geomecánicamente competentes, eventualmente complementados con la instalación de mallas metálicas, con o sin capas de hormigón proyectado, *shotcrete*.

Independiente de la tipología de presa seleccionada para estas dos alternativas, el heterogéneo carácter granulométrico y escaso grado de consolidación de los depósitos fluviales a fluviales que participan de relleno del fondo de la Quebrada de Aroma, demandarán la efectiva aplicación de un tratamiento mediante pared moldeada.

La moderada a alta ripabilidad del terreno local involucrado en los respectivos emplazamientos de las 2 alternativas, posibilitaría su remoción mediante el simple empleo de equipo mecanizado, (retroexcavadoras, bulldozers y/o cargadores frontales).

En un ambiente con laderas particularmente inestables, la eventual futura conversión de un segmento del fondo de la Quebrada de Aroma en vaso de un embalse de riego, comprometería una acción alternante de infiltración bajo los terrenos inundados, a partir del llenado, seguida de sucesivos recurrentes desembales operacionales; ello supone el desarrollo de inestabilidades puntuales o generalizadas en los terrenos que participarían de las zonas periférica de sus respectivas cubetas. En este caso, los factores desencadenantes en el desarrollo de inestabilidades, (representadas por desprendimientos y /o deslizamientos de variados volúmenes), incluirían:

- Disminución de parámetros resistentes,
- Aumento de las presiones intersticiales o de infiltración,
- Aumento de las tensiones.

Las forzadas actuaciones de estabilización, concentradas en sectores puntuales de los taludes desarrollados durante la preparación de las fundaciones o apoyos de las presas, podrían demandar la aplicación de complejos y costosos procedimientos estabilización


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

En el segmento de la Quebrada de Aroma ocupada por las obras de las ALT2 y ALT3, el compromiso de estrechas y profundas secciones transversales, constituidas por remanentes de complejos frentes lobulares de mega remociones en masa, ***MrAN*** y ***MrAS***, en Plano GEO-PTN-02, supone la presencia de materiales muy heterogéneos y anisotrópicos, con propiedades muy variables, susceptibles de desarrollar, con el tiempo, alteraciones y modificaciones superficiales en sus propiedades y comportamientos geomecánicos.
Experiencias prácticas han permitido establecer que frente a los señalados casos, la ausencia de favorables sitios alternativos, puede ser resuelta mediante la adopción de diseños y procedimientos constructivos que, si bien, satisfacen a plenitud los objetivos y alcances de los proyectos, suelen comprometer forzadas inversiones adicionales que superan por mucho las estimaciones inicialmente previstas.
En el segmento de la Quebrada de Aroma comprometido en el emplazamiento de las alternativas ALT2 y ALT 3, la presencia de abundantes bloques rocosos de gran tamaño, desprendidos desde sus respetivas empinadas e inestables paredes marginales, inmersos en los depósitos del relleno de su fondo, podrían imponer algunas limitaciones durante la realización de tratamientos destinados al efectivo control de la estanqueidad de las fundaciones de presas, recurriendo a la modalidad de "pared moldeada". En este tipo de ambientes sedimentarios, la presencia, magnitud y carácter geomecánico de los bloques suele, restringir la eficiencia operacional del *clamshell*[22], para excavar y extraer la totalidad de los materiales destinados a la efectiva configuración de las paredes de la "trinchera" o "zanja", para albergar la lámina de hormigón fluido de sello.
En directa relación con la eventual selección final de las alternativas ALT2 y ALT3, como sitios apropiados para el emplazamiento de la presa del PCEP, no debería ser desatendido el hecho de que, tanto el reducido ancho como el bien establecido confinamiento de la llanura de inundación, en el sector, podrían limitar la forzada desviación y control temporal de las aguas, durante recurrentes crecidas torrenciales en la Quebrada de Aroma, involucradas en sello y construcción de sus respectivas secciones basales.

### 6.1.5.3. Selección de Alternativa

El análisis y evaluación de las consideraciones que anteceden, permite establecer que, la ALT1 reuniría las mayores ventajas para el emplazamiento de las obras del PCEP. Los criterios de sustentación corresponden a:
Ambiente y condiciones geomorfológicas de la sección transversal de la quebrada en el sector.
Uniformidad, continuidad y estabilidad geológica - estructural de los materiales de la formación Altos de Pica, ***OMap***, en Plano GEO-PTN-02, comprometidos en el emplazamiento de todas las obras del Proyecto.
Favorables características geotécnicas de los señalados materiales, en términos de sus propiedades resistentes, capacidad de soporte, deformabilidad, estanqueidad, estabilidad físico – química y resistencia a la erosión.
Reconocida estabilidad de las laderas de la Quebrada de Aroma, comprometidas tanto en el emplazamiento de los estribos de presa, como en el vaso o cubeta del embalse.

[22] Clamshell = Cabezal o canastillo de excavación y extracción de materiales (suelos y rocas) involucrados en la preparación del tratamiento de sello de las fundaciones de presas, mediante el método de pared moldeada.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

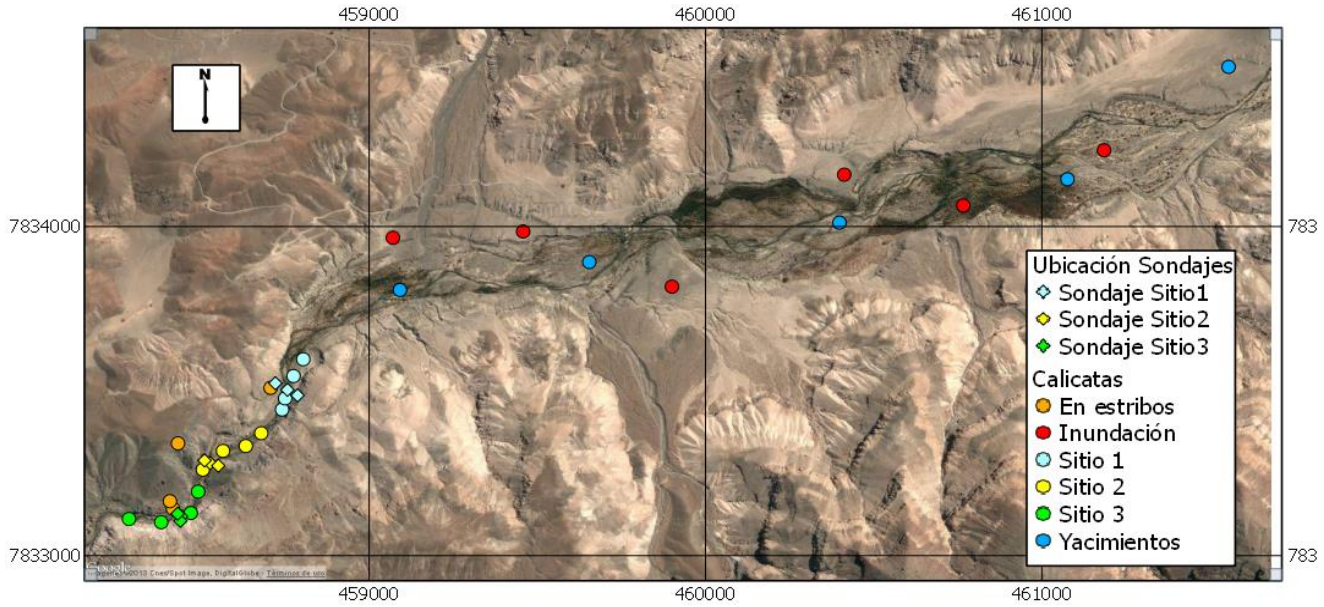
Disponibilidad en calidad y cantidad, a distancias apropiadas, de materiales granulares y finos impermeable para el diseño y construcción de la presa, mediante las tipologías CFRD y CFGD.
Nulo a bajo nivel de riesgos, impuestos por el desarrollo de procesos de remociones en masa (deslizamientos, desprendimientos, flujos de barro o detritos, solifluxión o reptación lenta), durante la vida operativa del Proyecto. Se trata de procesos de común ocurrencia en el segmento de la Quebrada de Aroma, objeto de ocupación por las obras de las ALT2 y ALT3.
El principal factor restrictivo de la ALT1, dice relación con el hecho de que, comparativamente, respecto de las restantes 2 alternativas, ALT2 y ALT3, objeto de análisis, posee una desfavorable relación volumen embalse / volumen de almacenamiento.

## *6.2. ESTUDIO GEOTECNICO*

El análisis comenzó con una recopilación de antecedentes geotécnicos del sector y la ejecución del plan de prospección, el que consistió en la ejecución de 9 sondajes entre 20,4 y 45,0 m de profundidad, 3 en cada alternativa del proyecto, además de 12 pozos de exploración de 5 m de profundidad máxima en la misma zona. En el sector de yacimientos se excavaron 5 pozos de exploración de 4,5 m de profundidad máxima respecto de la superficie actual de terreno. En la zona de inundación se excavaron 6 pozos de exploración de 6,0 m de profundidad. En la zona de trazado de canales, se excavaron 19 pozos de 2 m de profundidad máxima. Finalmente, se excavaron 4 pozos de exploración en la zona de los cerros de las 3 alternativas del proyecto. En la Figura 6.2-1 y 6.2-2, se muestra la ubicación de los pozos de exploración y sondajes, en el sector de yacimientos, zonas de inundación, trazado de canales y cerros.
De los pozos y sondajes se obtuvo la descripción estratigráfica del subsuelo de los distintos sectores y las muestras de suelo para su análisis en laboratorio. Los resultados obtenidos en terreno se presentan en el Capítulo 3, Etapa 4, debidamente interpretado y procesado, al igual que los resultados de los ensayes de laboratorio finales en todos los pozos.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

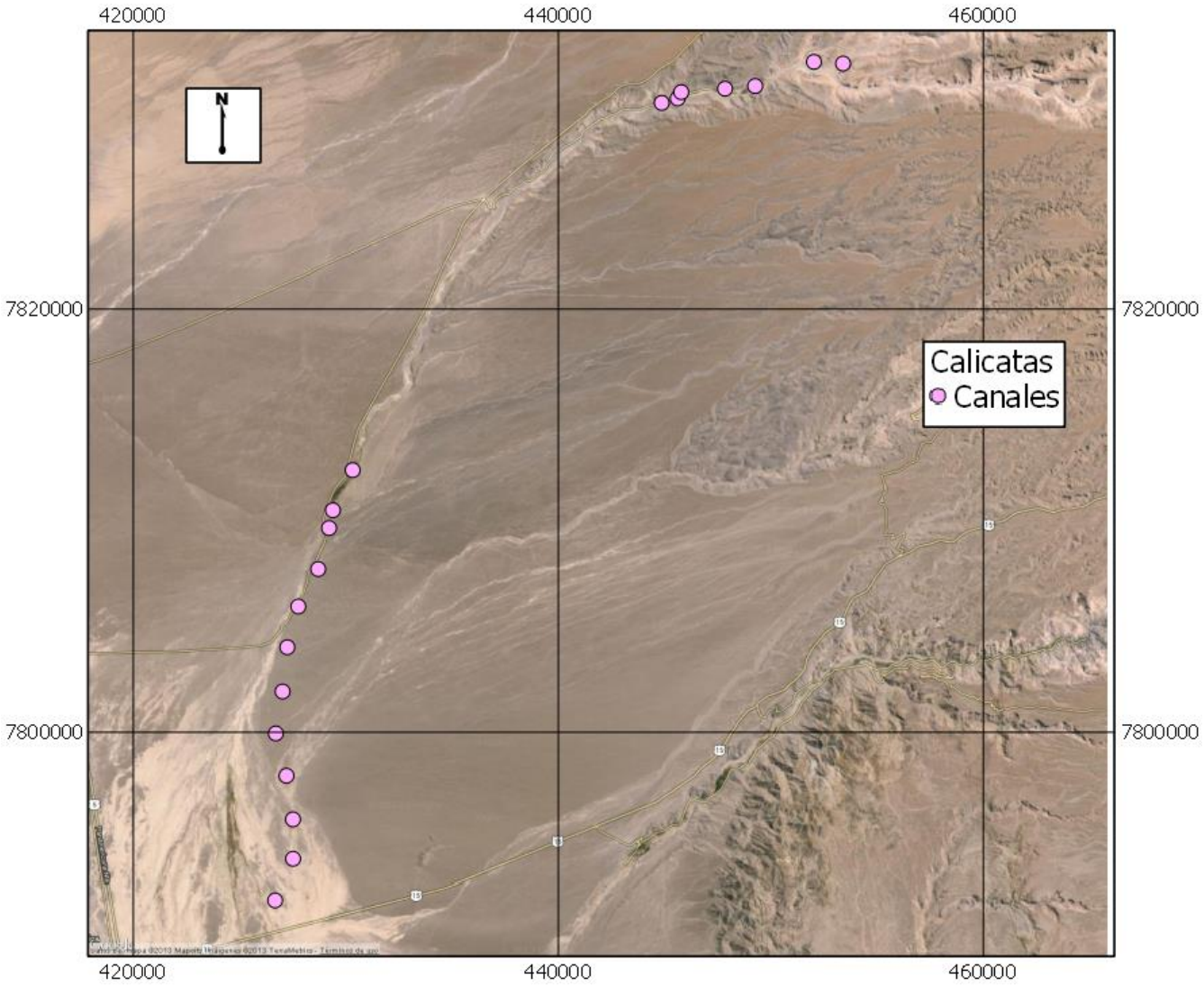
## FIGURA 6.2-1
## UBICACIÓN PROSPECCIONES





*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.2-1**
**UBICACIÓN PROSPECCIONES**




Fuente: Elaboración Propia a partir de Qgis

## 6.2.1. Antecedentes Utilizados

- Estratigrafía de los pozos de exploración. Sondajes geotécnicos Araos E.I.R.L, agosto de 2013.

- Resultados de ensayes de infiltración in-situ. Sondajes geotécnicos Araos E.I.R.L, agosto de 2013.

- Estratigrafía de calicatas y yacimientos. Agosto de 2013.

- United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation: "Diseño de PresasPequeñas". Compañía Editorial Continental S.A. México. 1980.

- Gobierno Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad: "Manual de Carreteras, Volumen 3, Instrucciones y Criterios de Diseño, Parte II.

## 6.2.2. Propiedades del Suelo de Fundación

## 6.2.2.1. Antecedentes Geológicos

Los sitios de alternativas de presa visitados están ubicados en la unidad geomorfológica de "los pediplanos y los sistemas de glacis o pediments" según el texto Geografía de Chile, Geomorfología, del Instituto Geográfico Militar. Corresponde a planos inclinados generados por dislocaciones tectónicas que en el plioceno levantaron la precordillera de Domeyko y toda la bóveda altiplánica, lo que produjo simultáneamente la disposición estructural del pediplano que conecta la zona cordillerana andina con las pampas de la depresión intermedia. Estos planos inclinados han servido de pista de deslizamiento a los sedimentos detríticos que han estado ocurriendo durante todo el cuaternario a raíz del desmantelamiento por erosión, de las capas geológicas secundarias y terciarias situadas en el este. Los planos inclinados se inscriben entre las cotas 1.500 y 3.000 m.s.n.m., lo cual indica que el pie distal de éstos se encuentra sólo unos 350 m por encima del relleno de las pampas centrales. El grado de conservación de los pediplanos disminuye progresivamente de norte a sur. El sector más bajo del plano inclinado (zona en que se ubica este proyecto) está constituido por una cubierta de arenas gruesas y finas, en tránsito de escurrimiento hacia las playas de sedimentación situadas en las pampas.
En esta unidad, el escurrimiento de las aguas se realiza de dos modos: como erosión lineal en el curso superior y medio de las quebradas, y como erosión laminar o manto en los cursos inferiores de dichas depresiones, extendiéndose este tipo de erosión acentuada de los lechos en el fondo de las quebradas, lo que se traduce en laderas limpias de escombros por la inestabilidad que provoca el continuo arrasamiento de las partes bajas. Por este motivo, las laderas de estas quebradas se asemejan a paredes verticales. La quebrada de Aroma presenta el aspecto típico de cajón con los dos elementos morfológicos característicos: fondo de valle con lecho de arrasamiento y laderas verticales sin formación de terrazas longitudinales.

## 6.2.2.2. Estratigrafía sector Muro

En el Anexo 5-9, se entregan las estratigrafías de los pozos de exploración. Los pozos de exploración excavados en el eje del muro, alcanzaron una profundidad máxima aproximada de 5,0 m, respecto de la superficie actual de terreno.
A partir de la exploración ejecutada, se puede adoptar los modelos estratigráficos superficiales para las áreas en estudio indicados en los cuadros 6.2.2.2-1, 6.2.2.2-2 y 6.2.2.2-3.

**CUADRO 6.2.2.2-6.2.2-1**
**MODELO ESTRATIGRÁFICO CALICATAS MURO ALTERNATIVA 1**

| Horizonte | Profundidad (m) | Descripción |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| H-1 | 0,00 – 2,00 | Grava arenosa color gris, humedad media, plasticidad nula, estructura homogénea, compacidad media, gravas de cantos redondeados y subredondeados de tamaño máximo de 10''. |
| H-2 | 2,00 – 3,00 | Arena limosa color café claro, humedad media a alta, plasticidad baja, estructura homogénea, compacidad alta. |

Nota: La napa se detectó en todos los pozos de exploración, con una profundidad mínima de 1,6 m. (Agosto 2013).

Fuente: Cristian Escalante Valdés

**CUADRO 6.2.2.2-6.2.2-2**
**MODELO ESTRATIGRÁFICO CALICATAS MURO ALTERNATIVA 2**

| Horizonte | Profundidad (m) | Descripción |
|---|---|---|
| H-1 | 0,00 – 2,00 | Grava arenosa color gris, humedad media, plasticidad nula, estructura homogénea, compacidad media, gravas de cantos redondeados y subredondeados de tamaño máximo de 10''. |
| H-2 | 2,00 – 4,00 | Arena limosa color café claro, humedad media a alta, plasticidad baja, estructura homogénea, compacidad alta. |

Nota: La napa se detectó en todos los pozos de exploración, con una profundidad mínima de 1,2 m. (Agosto 2013).

Fuente: Cristian Escalante Valdés

**CUADRO 6.2.2.2-6.2.2-3**
**MODELO ESTRATIGRÁFICO CALICATAS MURO ALTERNATIVA 3**

| Horizonte | Profundidad (m) | Descripción |
|---|---|---|
| H-1 | 0,00 – 1,40 | Grava arenosa color gris, humedad media, plasticidad nula, estructura homogénea, compacidad media, gravas de cantos redondeados y subredondeados. |
| H-2 | 1,40 – 5,00 | Arena limosa color café claro, humedad media a alta, plasticidad baja a nula, estructura homogénea, compacidad alta, cementación alta. |

Nota: La napa se detectó en todos los pozos de exploración, con una profundidad mínima de 1,0 m. (Agosto 2013).

Fuente: Cristian Escalante Valdés

## 6.2.2.3. Estratigrafía Sector Yacimientos

En el sector de Yacimientos, se excavaron 5 pozos de exploración entre 2,3 a 4,5 m de profundidad, respecto de la superficie actual de terreno. En el Anexo 5-9, se entrega la estratigrafía de los pozos de exploración.

**CUADRO 6.2.2.3-1**
**MODELO ESTRATIGRÁFICO CALICATAS YACIMIENTOS**


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

| Horizonte | Profundidad (m) | Descripción |
|---|---|---|
| H-1 | 0,00 – 1,50 | Limo arenoso color café claro, humedad baja, plasticidad baja, estructura homogénea, consistencia baja. Se observan gravas y raíces dispersas. |
| H-2 | 1,50 – 4,50 | Grava arenosa de color gris café, humedad media a alta, plasticidad nula, estructura homogénea, compacidad alta, gravas de cantos redondeados y sub redondeados, tamaño máximo 10". Se observan bolones de 14" aproximadamente. |

Nota: La napa se detectó en todos los pozos de exploración, con una profundidad mínima de 2,0 m. (Agosto 2013).

Fuente: Cristian Escalante Valdés

## 6.2.2.4. Sondajes

Se ejecutaron 9 sondajes, de profundidades entre los 20,40 m y 45,00 m aproximadamente, cuya descripción se entrega en el Anexo 5-2, de los que se obtienen los siguientes modelos estratigráficos:

**CUADRO 6.2.2.4-1**
**MODELO ESTRATIGRÁFICO SONDAJES ALTERNATIVA 1**

| Horizonte | Profundidad(m) | Descripción |
|---|---|---|
| H-1 | 0,00 – 1,20 | Relleno granular fluvial a fuvioaluvial de la llanura de inundación de la quebrada Aroma. Arena limosa con gravas de color café claro, compacidad baja a media, humedad baja, gravas de cantos sub redondeados y sub angulosos de tamaño máximo 21/2''. |
| H-2 | 1,20 – 8,50 | Brecha arenisca brechosa rosada, maciza a estratificación poco definida, semiconsolidada; clastos angulosos a subangulosos de cuarzo y esquirlas andesíticas; abundante matriz de toba lítica y polvo volcánico cristalizado, muy densa. |
| H-3 | 8,50 – 35,5 | Conglomerado compuesto por arena limosa con gravas dispersas, color café claro, compacidad media a alta, humedad baja, gravas de cantos sub angulares y sub redondeados. |

Nota: Se observa un valor de %RQD muy variable, entre 20% y 80%.
Fuente: Elaboración Propia a partir de Geólogo Especialista

**CUADRO 6.2.2.4-2**
**MODELO ESTRATIGRÁFICO SONDAJES ALTERNATIVA 2**

| Horizonte | Profundidad (m) | Descripción |
|---|---|---|
| H-1 | 0,00 – 2,10 | Relleno granular fluvial a fluvioaluvial de la llanura de inundación de la quebrada Aroma. Gravas y arena media a gruesa, suelta, grisácea, con algunos trozos y rodados centimétricos de andesita verdosa y negruzca, afanítica y porfídica, densos, inalterado, resistentes, junto a clastos de brechas, areniscas, ignimbrítas y tobas. |
| H-2 | 2,10 – 45,0 | Conglomerado compuesto por arena limosa con gravas dispersas de tamaño máximo 17'', color café claro, compacidad media a alta, humedad baja, gravas de cantos sub angulares y sub redondeados. Presenta matriz microbrechosa poco cementada con materiales arcillosos o cineríticos, (ceniza o polvo volcánico). |

Nota: Se observa un valor de %RQD variable, entre 40% y 80%.
Fuente: Elaboración Propia a partir de Geólogo Especialista

**CUADRO 6.2.2.4-3**
**MODELO ESTRATIGRÁFICO SONDAJES ALTERNATIVA 3**

| Horizonte | Profundidad (m) | Descripción |
|---|---|---|
| H-1 | 0,00 – 1,20 | Relleno granular fluvial a fluvioaluvial de la llanura de inundación de la quebrada Aroma. Gravas de cantos rodados con dimensiones medias de 12 a 15 cm, dominantemente subredondeados a subangulosos de andesitas afaníticas y porfídicas, densos, inalterados, resistentes, inmersos en escasa gravilla y arena gruesa, suelta. |
| H-2 | 1,20 – 35,00 | Conglomerado compuesto por arena limosa con gravas dispersas de tamaño máximo 21/2'', color café claro, compacidad media a alta, humedad baja, gravas de cantos sub angulares y sub redondeados. Se observan fracturas en forma diagonal y horizontal. |

Nota: Se observa un valor de %RQD muy variable, entre 30% y 80%
. Fuente: Elaboración Propia a partir de Geólogo Especialista

## 6.2.2.5. Ensayes de Infiltración

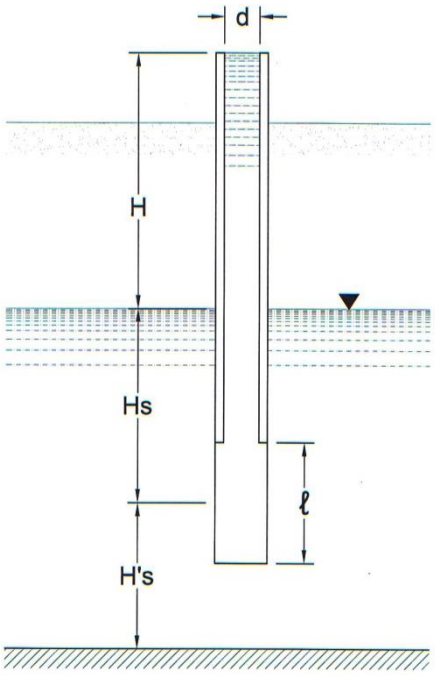
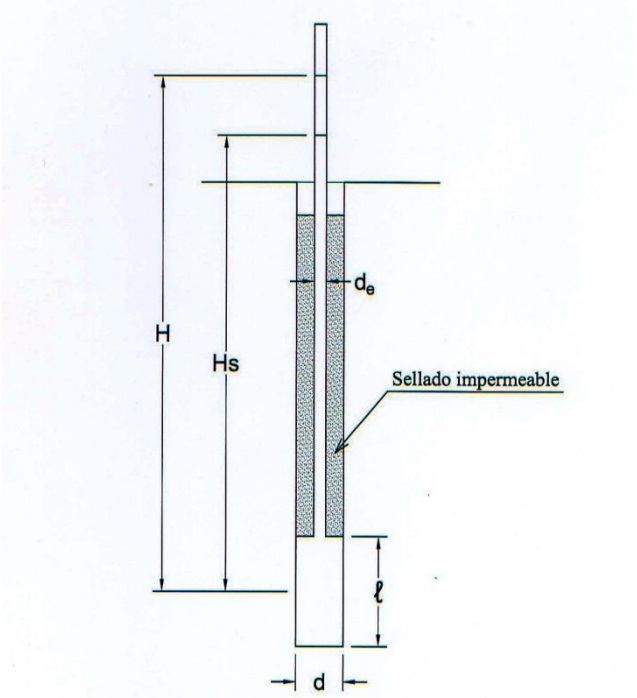
En los sondajes, se ejecutaron ensayes de infiltración según el método Lefranc Mandel y Lugeon Mejorado. En el Anexo 5-3 se entregan los resultados de los ensayes efectuados para evaluar la permeabilidad del suelo de fundación del muro.

**Ensayo Lefranc**

Para el caso del ensayo Lefranc con carga constante, se tiene que durante la ejecución del sondaje, en un momento dado, se levanta la tubería de entibación (impermeable) una altura (en este caso 1,0 m), y se llena de agua la cual fluye hacia el sondeo. Se prosigue hasta que se comprueba que el régimen es estacionario o el caudal es constante.

En la Figura 6.2.2.5-1 se incluye un esquema y las ecuaciones con las cuales se calcula la permeabilidad del tramo. Luego en el Cuadro 6.2.2.5-1 se presentan los resultados obtenidos en cada ensayo.

**FIGURA 6.2.2.5-1**
**ESQUEMA ENSAYE LEFRANC**

| Ensaye Lefranc con carga constante | Ensaye Lefranc con carga Variable |
|---|---|
|  |  |
| $k = m\frac{Q}{H}$<br>$m = \frac{\ln(\frac{2\ell}{d})}{2\pi\ell}$ | $k = \frac{d_e^2 \ln(\frac{2\ell}{d})}{8\ell \cdot t}\ln(\frac{H}{H_s})$<br>Siendo t el tiempo transcurrido entre las medidas de las alturas H1 y H2 |

Fuente: Geofun

Si no resulta conveniente llenar el tubo hasta arriba, se recurre a la carga hidráulica variable, tal como se muestra en las siguientes figuras que se presentan a continuación.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## CUADRO 6.2.2.5-1
## RESULTADOS ENSAYES LEFRANC-MANDEL EN SONDAJES

| Alternativa | Sondaje | Tramo ensayo (m) | Permeabilidad de carga constante (m/s) | Permeabilidad de carga variable (m/s) |
|---|---|---|---|---|
| ALT1 | E1S1 | 0,00-5,30 | 2,20E-06 | 2,05E-07 |
| | E1S1 | 5,30-10,30 | 2,00E-06 | 9,25E-08 |
| | E1S1 | 10,30-15,30 | 1,83E-06 | 5,49E-08 |
| | E1S1 | 15,30-20,30 | 2,27E-06 | 3,95E-08 |
| | E1S1 | 20,30-25,30 | 5,88E-07 | 3,14E-08 |
| | E1S1 | 25,30-30,30 | 9,19E-07 | 2,93E-08 |
| | E1S2 | 0,00-5,00 | 1,04E-05 | 1,05E-07 |
| | E1S2 | 5,00-10,00 | 1,44E-05 | 3,44E-08 |
| | E1S2 | 10,00-15,00 | 1,78E-05 | 2,30E-08 |
| | E1S2 | 15,00-20,00 | 5,54E-06 | 1,66E-08 |
| | E1S2 | 20,00-25,00 | 5,63E-06 | 1,30E-08 |
| | E1S3 | 0,00-5,30 | 1,32E-05 | 7,75E-08 |
| | E1S3 | 5,30-10,30 | 7,04E-06 | 2,36E-08 |
| | E1S3 | 10,30-15,30 | 7,12E-06 | 5,53E-08 |
| | E1S3 | 15,30-20,30 | 4,10E-06 | 4,10E-08 |
| ALT2 | E2S1 | 0,00-5,30 | N,A | N,A |
| | E2S1 | 5,30-10,30 | 6,07E-06 | 2,19E-07 |
| | E2S1 | 10,00-15,00 | 5,68E-06 | 1,22E-07 |
| | E2S1 | 15,00-20,00 | 7,79E-07 | 2,51E-08 |
| | E2S2 | 0,00-5,40 | 1,93E-05 | 3,57E-07 |
| | E2S2 | 5,40-10,40 | 1,73E-05 | 1,02E-07 |
| | E2S2 | 10,40-15,40 | 3,95E-05 | 4,74E-09 |
| ALT3 | E3S1 | 4,10-5,10 | 2,00E-06 | 4,16E-07 |
| | E3S2 | 4,30-5,40 | 1,51E-06 | 3,47E-07 |
| | E3S2 | 10,40-11,40 | 1,52E-06 | 1,32E-07 |
| | E3S2 | 15,20-16,20 | 2,40E-06 | 1,14E-07 |
| | E3S3 | 4,20-5,20 | 1,95E-06 | 3,64E-08 |
| | E3S3 | 5,20-10,00 | 2,45E-07 | 1,97E-08 |

Fuente: Elaboración Propia a partir de resultados Sondajes Araos

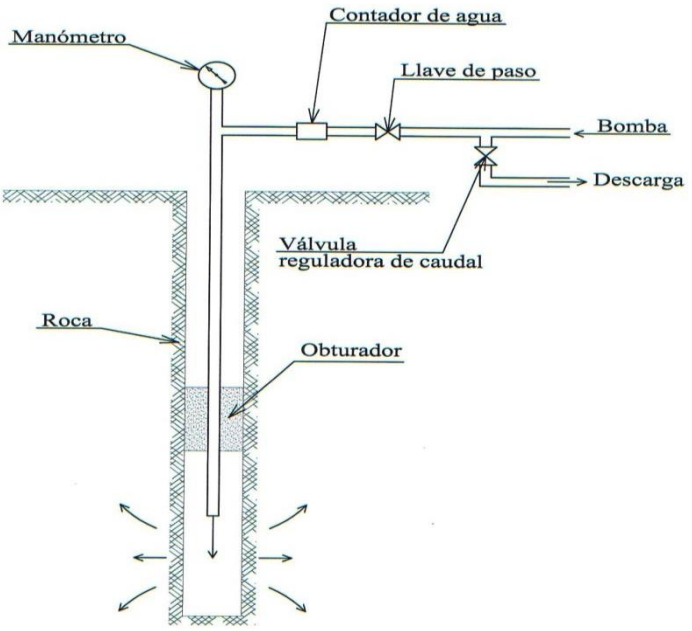
**Ensaye Lugeon**

El ensayo Lugeon típico se hace en roca y con agua a presión considerable, siendo normal la de 10 kg/cm$^2$.
Se aplica la presión indicada de 10 kg/cm$^2$ durante 10 minutos y se mide el caudal infiltrado.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

Este ensaye para medir la permeabilidad in-situ, en honor a su inventor, la Unidad Lugeon, se define como la pérdida de un litro por minuto y por metro lineal de perforación. Los ensayes suelen hacerse escalonados. Elevando progresivamente la presión, y luego disminuyendo, registrando el caudal para las distintas presiones consideradas.
En la Figura 6.2.2.5-2 se incluye un esquema y las ecuaciones con las cuales se calcula la permeabilidad del tramo. Luego en el Cuadro 6.2.2.5-2 se presentan los resultados obtenidos en cada ensayo.

**FIGURA 6.2.2.5-2**
**ESQUEMA ENSAYE LUGEON CON OBTURADOR SIMPLE**




$$K = \frac{2.3Q\log nr/r}{2\pi bH}$$

Perforación 0.09 m, entonces r = 0.045 m.

Tramo de 5 m, entonces nr = 5.0 m

H equivalente a 10 kg/cm$^2$ (100 m) (según corresponda)

b longitud de absorción b = 5 m

Q caudal en m$^3$/seg

Fuente: Geofun


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**CUADRO 6.2.2.5-2**
**RESULTADOS ENSAYES LUGEON EN SONDAJES**

| Alternativa | Sondaje | Tramo ensayo (m) | Admisión en Litros/min/m (U.L) (para 10 kg/cm$^2$) | Permeabilidad (m/s) |
|---|---|---|---|---|
| ALT1 | E1S3 | 20,30-25,30 | 0,97 | 5,56E-07 |
| | | 25,30-30,30 | 0,94 | 5,40E-07 |
| | | 30,20-35,50 | 1,32 | 7,70E-07 |
| | E1S2 | 25,00-30,20 | 0,88 | 5,09E-07 |
| | | 30,20-35,50 | 0,78 | 4,56E-07 |
| | E1S1 | 25,30-30,30 | 1,43 | 8,17E-07 |
| | | 30,30-35,30 | 0,89 | 5,07E-07 |
| ALT2 | E2S3 | 30,50-35,30 | 2,20 | 9,75E-07 |
| | | 40,00-45,00 | 0,28 | 2,29E-07 |
| | E2S2 | 15,40-20,40 | 1,89 | 1,08E-06 |
| | | 20,40-25,40 | 0,54 | 3,11E-07 |
| | | 25,40-30,40 | 1,00 | 5,72E-07 |
| | | 30,40-35,40 | 1,43 | 8,17E-07 |
| | E2S1 | 33,30-38,30 | 0,00 | 0,00E+00 |
| ALT3 | E3S3 | 20,20-25,20 | 0,10 | 8,17E-08 |
| | | 25,10-30,10 | 0,08 | 6,54E-08 |
| | E3S2 | 16,20-21,20 | 0,29 | 1,63E-07 |
| | | 21,20-26,40 | 0,13 | 1,11E-07 |
| | | 26,40-31,40 | 0,08 | 6,54E-08 |
| | | 31,40-35,00 | 0,00 | 0,00E+00 |
| | E3S1 | 6,10-11,10 | 1,28 | 5,23E-07 |
| | | 11,10-16,10 | 1,44 | 5,89E-07 |
| | | 16,10-21,10 | 0,31 | 1,80E-07 |
| | | 21,10-26,10 | 0,18 | 1,47E-07 |

Fuente: Elaboración Propia a partir de resultados Sondajes Araos

## 6.2.3. Conclusiones de la Exploración y de los Ensayes

De la exploración efectuada y de los ensayes de laboratorio realizados, se concluye lo siguiente:

- Desde el punto de vista de disponibilidad de materiales para la construcción del muro del embalse en las 3 alternativas del sitio, de los resultados de la exploración ejecutada y ensayes de laboratorio ejecutados, es que el lugar más adecuado para la construcción de la presa es la alternativa N° 1, así como la presa más adecuada para el proyecto en cuestión corresponde a una del tipo CFGD, es decir una presa de grava con pantalla de hormigón. En los sectores de empréstito, antes del carguío de camiones, se deberá respetar la banda granulométrica entregada;
- Para la construcción de la presa, se recomienda la utilización principalmente de grava algo arenosa, tamaño máximo 500 mm, compactada hasta alcanzar el 80% de la densidad relativa. Para el "Cojín" de la pantalla de hormigón (Cushion), directamente

bajo ella, en un espesor mínimo de 2,0 m se colocará una grava de tamaño máximo de 3" y máximo un 5% de finos bajo 0,08 mm;

## CUADRO 6.2-1
## BANDA GRANULOMÉTRICA MURO

| Especificación | Banda Granulométrica Muro | | |
|---|---|---|---|
| | Distribución | Diámetro Nominal (mm) | Peso Específico de Partículas mínimo 2,6 ton/m$^3$ |
| Tamaño Grueso >76,2 mm (50%) | 100% menor que | 500 | |
| | 10% mayor que | 200 | |
| | 20 % mayor que | 180 | |
| | 20% mayor que | 125 | |
| Gravas Arenosas <76,2 mm (50 %) | % Grava 70% - 80% (Tamaño menor a 76,2 mm)<br>% Arena 10% – 25% (Tamaño menor a 5 mm ó malla N°4)<br>% de Finos 1% – 5% (Tamaño menor a 0,08 mm ó Malla N°200 ASTM) | | |

Fuente: Geofun

- Para sectores del área de empréstito que presente mucho material fino (mayor a 5% bajo 0,08 mm) será necesario "parrillar" el material para obtener las partículas sobre 76,2 mm (3'') si se requiere;

- Para la construcción del muro del embalse, primero que todo, se realizará un escarpe de 30 cm de espesor máximo en toda el área de su emplazamiento. Retiro del material más fino existente, capa vegetal, arenas arcillosa y arenas limosas, de modo que la presa quede apoyada en la grava compacta detectada en la exploración o directamente sobre el conglomerado;

- En ambos estribos de la presa, se excavará hasta alcanzar la roca fracturada, para la fundación del "plinto";

- Se colocarán los materiales de relleno, en capas horizontales de espesor suelto no superior a 1,0 m, las que se compactarán con rodillo vibratorio de peso estático igual o superior a 15 toneladas. El equipo compactador se pasará un mínimo de 6 veces por cada punto de cada capa. En sectores estrechos, entorno y sobre los ductos hasta una altura mínima de 2,0 m; se usará equipo de menor tamaño y se disminuirá el espesor de capa y del tamaño máximo del granular colocado (grava arenosa T.M 4"), previa autorización de la inspección técnica, de manera de conseguir rellenar todos los espacios adecuadamente. Los rellenos se colocarán de manera de cumplir con las líneas y niveles indicados en los planos;


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

- Respecto del suelo de fundación del muro del embalse, este corresponde a una grava arenosa compacta, por lo que las propiedades mecánica de resistencia al corte y esfuerzo deformación son adecuadas para la construcción del muro del embalse;

- Para el control de las filtraciones por debajo del muro, se dispondrá de una línea de inyecciones, que inicialmente deberá alcanzar una profundidad media de 2,0 m de modo de alcanzar con certeza la roca de mejor calidad;

- En cuanto a la posibilidad de que produzca erosión en los taludes en el área de inundación del embalse, no existe la certeza de que sea sólo local, dada la matriz areno limosa de sobrecarga sobre el suelo;

- En general el suelo para el área de inundación corresponde a una grava arenosa aguas abajo, y desde una arena limosa a limo arenoso para el sector aguas arriba de este. El suelo del área de inundación se muestran bien consolidado.

### 6.2.4. Propiedades Mecánicas

En terreno, el material de relleno del muro será controlado a través de su banda granulométrica, e in situ, a través del control de su densidad relativa Dr>80%. Respecto del suelo de fundación, las propiedades mecánicas del estrato de grava arenosa, serán verificadas a través de pruebas de Carga In-situ, según la norma ASTM D1194-94 y a través de densidades relativas Dr. De la exploración realizada, antecedentes revisados (E. Bowles, "Foundation Analysis and Design". 5a Ed. Mc.Graw-Hill. Pag.163 y de Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering rock mass classifications. New York: Wiley.), de propiedades medidas en suelos de similares características y origen geológico se han adoptado conservadoramente para efectos de diseño, las siguiente propiedades geomecánicas de resistencia al corte y esfuerzo deformación.

***Suelo de Fundación (*Conglomerado)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\phi$ | = 33 | | , ángulo de fricción interna |
| c | = 10,0 | $t/m^2$ | , cohesión |
| $\gamma$ | = 2,50 | $t/m^3$ | , peso unitario natural |
| E | = 40000 | $t/m^2$ | , módulo de Young |
| Ed | = 3E | $t/m^2$ | , módulo de Young para cargas cíclicas |
| $\mu$ | = 0,30 | | , razón de Poisson no drenada |

***Muro (Grava algo arenosa $D_r$>80%)***

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\phi$ | = 38º | | , ángulo de fricción interna |
| c | = 1,5 | $t/m^2$ | , cohesión |
| $\gamma$ | = 2,10 | $t/m^3$ | , peso unitario natural |
| E | = $4500\sqrt{z}$ | $t/m^2$ | , módulo de Young si z es la profundidad |
| Ed | = 3E | $t/m^2$ | , módulo de Young para cargas cíclicas |
| $\mu$ | = 0,25 | | , razón de Poisson no drenada |


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## 6.2.5. Diseño

### 6.2.5.1. Ancho de Coronamiento

El ancho de la presa en el coronamiento se estimó con tres expresiones diferentes. Primero utilizando la fórmula siguiente del Bureau of Reclamation:

$$W = \frac{Z}{5} + 10$$

Donde W es el ancho del coronamiento (pies), Z es la altura de la presa (pies). Aplicando la expresión anterior para Z = 131,2 pies (40,0 m) se obtiene un ancho de coronamiento de 36,2 pies que equivalen a 11,05 m.

Otra fórmula que se puede aplicar para estimar el ancho del coronamiento es la de la norma española de grandes presas que indica:

$$C = 3 + 1{,}5\sqrt[3]{A - 15}$$

Donde C corresponde al ancho del coronamiento (m) y A es la altura de la presa (m). Aplicando la fórmula anterior para una altura de 40,0 m se obtiene un ancho de coronamiento de 7,40 m. La norma además indica que en zonas de sismicidad alta (como en este caso) se debe aumentar la anchura del coronamiento en un 50%, lo que resulta en 11,1 m.

Los ingenieros Jorge Gálvez y Luis Vidal propusieron una expresión para determinar el ancho del coronamiento basándose en las grandes presas existentes en Chile, la expresión matemática es la siguiente:

$$b = -36\,H^{-0.20} + 25$$

Donde b corresponde al ancho de coronamiento (m) y H a la altura de la presa (m).Aplicando la fórmula anterior se obtiene un ancho de coronamiento de 7,8 m. Para zona de sismicidad alta los autores proponen aumentar el ancho del coronamiento en un 25%, por lo que el ancho resultante es de 9,7 m.

Combinando los resultados obtenidos de las expresiones anteriores, se ha adoptado conservadoramente por un ancho de coronamiento de 12,0 m.

### 6.2.5.2. Cálculo de Estabilidad de la Presa

La inclinación de los taludes que constituirá el muro del embalse serán de aproximadamente V : H = 1,0 : 1,5 para el talud de aguas arriba y de aguas abajo.

El análisis de estabilidad de los taludes que constituyen el muro de la presa, con embalse vacío, se realizó con el programa de computación Slope/W utilizando el método de Spencer. Respecto del análisis sísmico, se ha utilizado una metodología simplificada pseudo-estática, que introduce las cargas cíclicas como una fuerza inercial horizontal. En este proceso se determina la aceleración de fluencia, la que corresponde a la aceleración máxima para la cual el muro presenta un factor de seguridad igual a 1,0.

Para el cálculo de la aceleración de fluencia, se han considerado recomendaciones, incluidas en el Cuadro 6.2.5.2-1, entregadas por distintos autores respecto de este tema:

**CUADRO 6.2.5.2-1**
**COEFICIENTES SÍSMICOS DE DISEÑO**


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

| Autor | $k_h$ | Observación |
|---|---|---|
| Terzaghi (1950) | $k_h$=0,1; $k_h$=0,2 y $k_h$=0,5 | Para sismos severos, violentos y destructivos, y sismos catastróficos respectivamente |
| Noda&Uwave(1976) | $k_h=a_{max}/g$ | Si $a_{max}\leq 2,0 m/seg^2$ |
| | $k_h=0,33\cdot(a_{max}/g)^{0,33}$ | Si $a_{max}>2,0 m/seg^2$ |
| Seed (1979) | $k_h$=0,10 $FS_{sísmico}$>1,15 | Grandes deslizamientos y sitios cercanos a la fuente sísmica, capaz de generar un sismo de Magnitud 6,5 |
| | $k_h$=0,15 $FS_{sísmico}$>1,15 | Grandes deslizamientos y sitios cercanos a la fuente sísmica, capaz de generar un sismo de Magnitud 8,5 |
| Seed (1980) | $k_h$=0,15 $FS_{sísmico}$>1,15 | Siempre que no exista una pérdida significativa de resistencia de los materiales durante el sismo (suelos arcillosos, arenas drenadas y suelos no-cohesivos densos). Además, sugiere verificar deformaciones con método de Newmark (1965) |
| Marcuson (1981) | $k_h=0,33\cdot a_{max}/g$ a $k_h=0,50\cdot a_{max}/g$ | Considera posible amplificación ó amortiguamiento |
| Krinitzsky et.al(1993), Taniguchi& Sasaki (1986) | $k_h=0,65\cdot a_{max}/g$ | Recomendada para deslizamiento de magnitud intermedia |
| Seed & Martin(1966), Dakuolas& Gazetas (1986) | $k_h=a_{max}/g$ | Para un talud pequeño |
| | $k_h=0,65\cdot a_{max}/g$ | Deslizamiento de magnitudintermedia |
| | Idem Seed (1979) | Grandes deslizamientos. |
| Hynes-Griffin &Franklin (1984) | $k_h=0,5\cdot a_{max}/g$ | |
| Saragoni (1993) | $k_h=0,3\cdot a_{max}/g$ | Si $a_{max}\leq 6.6 m/seg^2$ |
| | $k_h=0,22\cdot a_{max}/g$ | Si $a_{max}>6.6 m/seg^2$ |
| Kramer (1996) | $k_h=0,5\cdot a_{max}/g$ | Apropiado para muchas obras, pero se acota que no es una regla general. |
| Division of Minesand Geology,California (1997) | $k_h$=0,15 | |

Fuente: Varios Autores Indicados en el Cuadro

Conservadoramente se ha adoptado $k_h$=0,75 $a_{max}/g$. Para estos efectos se ha considerado una aceleración máxima sísmica horizontal en el sitio igual a 0,20 g; por lo que $K_h$=0,15.

Los factores mínimos de seguridad considerados en los cálculos, son de 1,5 en el caso estático y de 1,0 en el caso sísmico.

De los cálculos efectuados, con la metodología indicada, los factores de seguridad obtenidos son los indicados en el Cuadro 6.2.5.2-2.

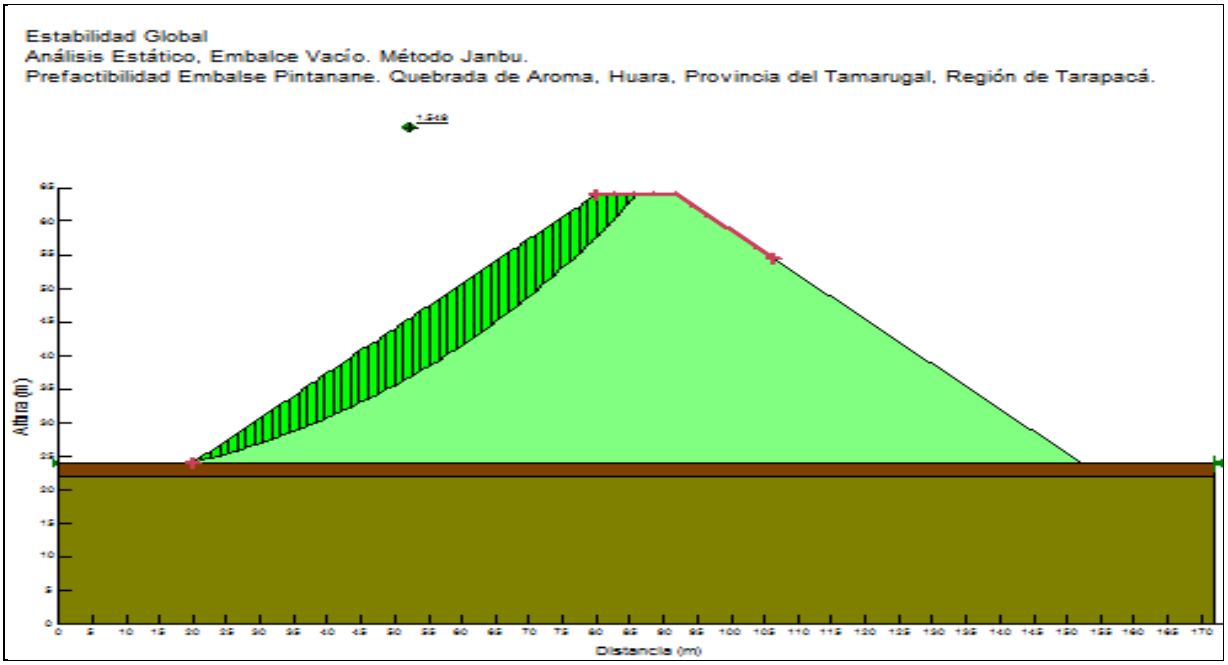
## CUADRO 6.2.5.2-2
## FACTOR DE SEGURIDAD TALUDES PRESA

| Coeficiente sísmico Horizontal Kh | Factor de seguridad FS |
|---|---|
| Kh = 0,00 (estático) | 1,549 |
| Kh = 0,15 (pseudo-estático) | 1,167 |
| Kh = 0,23 (Ky) | 1,002 |

Fuente: Geofun

## FIGURA 6.2.5.2-1
## ESTABILIDAD ESTÁTICA GLOBAL DE LA PRESA
## F.S = 1,549

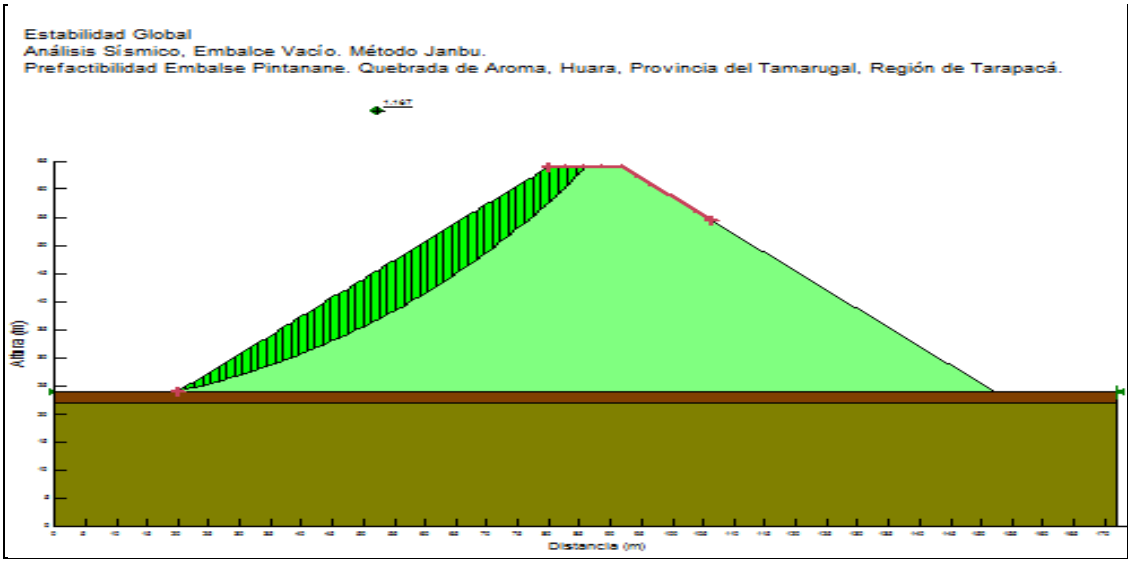

*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*




Fuente: Geofun

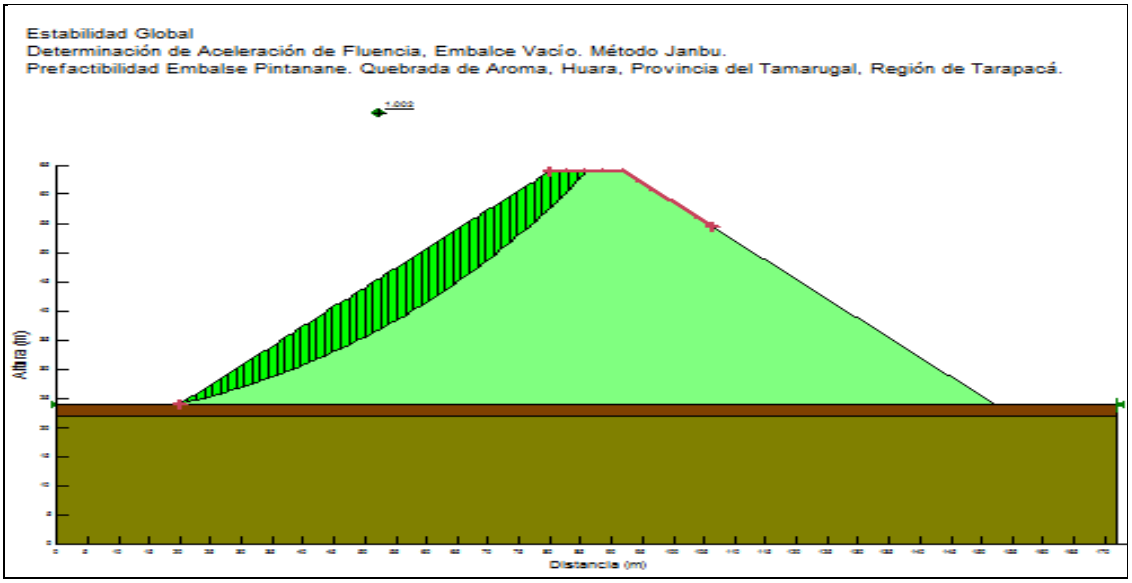

*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.2.5.2-2**
**ESTABILIDAD SÍSMICA GLOBAL DE LA PRESA (KH = 0,15)**
**F.S = 1,167**




Fuente: Geofun

**FIGURA 6.2.5.2-3**
**DETERMINACIÓN DE LA ACELERACIÓN DE FLUENCIA (KY) DE LA PRESA**
**KY = 0,3**




Fuente: Geofun


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

De los análisis realizados se concluye que los taludes adoptados para la presa, son adecuados desde el punto de vista estático y sísmico.
Respecto del caso del embalse lleno, el análisis de estabilidad efectuado entrega resultados mayores a los mostrados anteriormente, ya que al existir una pared impermeable y estar el embalse lleno, el agua actúa como una fuerza resistente, aumentando el F.S del talud.

### 6.2.5.3. Makdisi y Seed

En el Anexo 6-1, se entregan los resultados del análisis para la determinación de los desplazamientos sísmicos esperados en la presa. Conservadoramente se ha considerado, un sismo de magnitud Richter 8,25, con el espectro de aceleraciones del registro de Viña del Mar S20W del sismo del 3 de marzo de 1985; ya que de acuerdo a mediciones realizadas, presentaría una aceleración máxima bastante mayor a las de un sismo en la zona de estudio en caso de subducción (Saragoni, R., Gonzalez, P. Fressard, M. (1986). El Sismo de Marzo de 1985 fue obtenido del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.
Utilizando el método de Makdisi y Seed y el espectro señalado, se obtuvo un desplazamiento horizontal aproximado 1 cm considerando un coeficiente de aceleración de fluencia de 0,23, por lo que se concluye que no se producirán daños de importancia en el cuerpo de la presa durante un sismo fuerte.

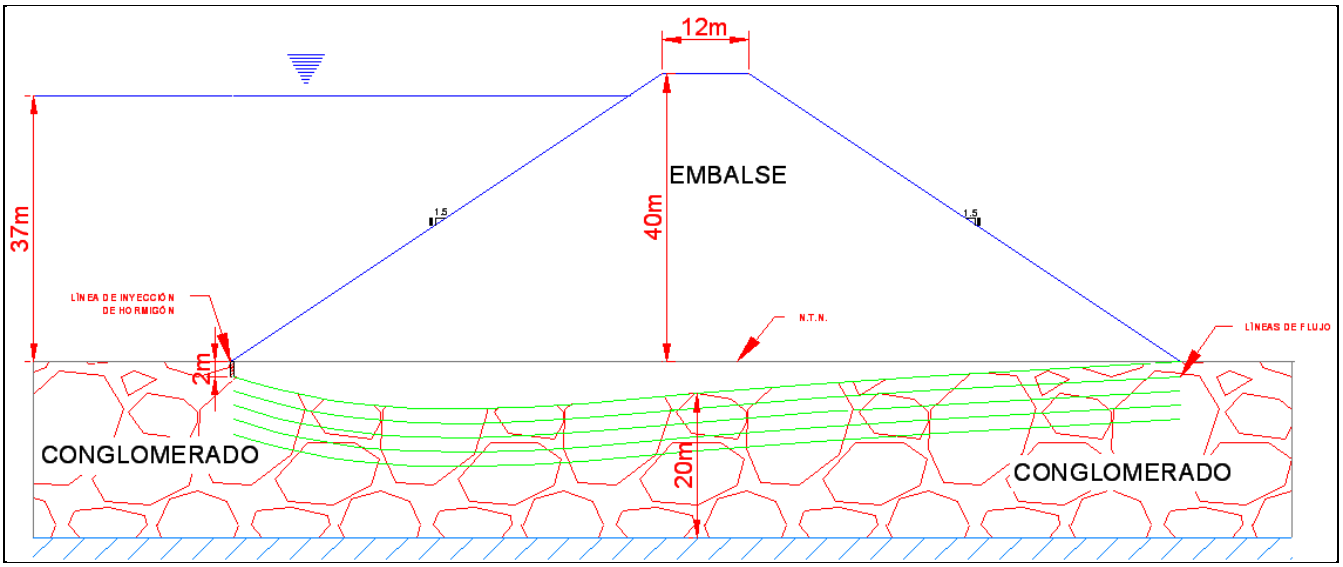
## 6.2.6. Calculo de Filtraciones

### 6.2.6.1. Calculo de Pérdidas Unitarias

A partir de los ensayes de permeabilidad efectuados, se puede adoptar conservadoramente un coeficiente de permeabilidad k = 1E-07 m/s, para la roca con un alto grado de fracturación por debajo de las líneas de inyecciones.
El camino que recorre el agua filtrada es de aproximadamente 132 m, considerando una inyección de hormigón hasta una profundidad de 2 m, la altura del agua es aproximadamente 37 m y se ha considerado que a una profundidad de 20 m, el estrato de conglomerado es suficientemente impermeable. Luego, el gradiente hidráulico para el embalse lleno es i= 0,28.
el gradiente se obtiene de la división entre la diferencia de altura del agua para situaciones ya estabilizada, y por el camino que recorren las líneas de flujo. En este sentido, la diferencia de altura viene dada por 37 m (embalse casi lleno, considerando una altura de 40 m), y el camino recorrido viene dado por la hipotenusa formada por la línea de inyecciones (considerando 2 m) y el largo del muro (12 + 2*60). Finalmente, el gradiente resulta: i = 37/raíz(2^2+132^2) = 0,28. En la Figura 6.2.6.1-1 se muestra un esquema de las líneas de flujo bajo el muro.

**FIGURA 6.2.6.1-1**
**ESQUEMA DE LÍNEAS DE FLUJO BAJO EL MURO**


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*




Fuente: Geofun

Luego el caudal que se infiltra será por metro lineal de muro, y será aproximadamente:

$$Q = k\ i\ A$$

$Q = 1E\text{-}7\ m/s \times 0{,}28 \times 20\ m^2$

$Q = 5{,}605 \times 10\text{-}7 m^3/s = 2{,}02\ L/hr = 48{,}4\ L/día$

$F.S = 3 \Rightarrow Q = 1{,}868 \times 10\text{-}7 m^3/s = 0{,}673\ L/hr = 16{,}144\ L/día$

## 6.2.7. Inyecciones

Si se requiere o se estima necesario, en los estribos del muro, se realizarán inyecciones para el llenado de las grietas. Estas se realizarán en una línea, utilizando lechada de cemento, relación a/c = 0,7. La profundidad máxima de la inyección, disminuirá proporcionalmente con la altura de agua del embalse, partiendo en 55 m de profundidad, en las laderas cercanas al fondo del valle, para quedar con un mínimo de 2,0 m, a nivel de la altura máxima de aguas.

La ejecución de las inyecciones se realizará después de construido el muro, desde el pie del muro. La presión de ejecución disminuirá en la zona de contacto Hormigón-Roca, de modo de evitar el levantamiento de la roca, frente al plinto.

De modo de llevar un control, con la inyección se deberá ejecutar con un número GIN constante (Presión de inyección por volumen inyectado).

La dosificación recomendada para la inyección se presenta en el Cuadro 6.2.7-1:

**CUADRO 6.2.7-1**
**LECHA DE INYECCIÓN**

| **Relación A / C 0,70** | | | |
|---|---|---|---|
| **Dosificación para 1 Saco** | | | |
| | kilos | Pe | Litros |
| Cemento | 42,5 | 3 | 14,17 |


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Agua | 29,75 | 1 | 29,75 |
| Rheobuild 1000 / 3% | 1,275 | 1,22 | 1,05 |
| Pozzolit 122 HE / 2% | 0,85 | 1,22 | 0,7 |
| Totales | 74,375 | | 45,67 |
| Peso específico Teórico | 1,575 gr,/cm$^3$ | | |
| Viscosidad | 32 a 36 s, | | |
| Decantación Max, | 5% | | |
| Resistencia a la compresión (Mpa) | 20 (7 días) | 26 (14 días) | 30 (28 días) |
| Rheobuild 1000 | Superplastificante | | |
| Pozzolit | Reductor de agua | | |

Fuente: Geofun

El rendimiento máximo recomendado es de 5 sacos de cemento por metro cúbico de mezcla es decir 228 l/m; por lo que el número GIN = 3.078 bar·l/m. Se deberá definir en terreno el espaciamiento horizontal entre filas de inyección, a través de pruebas cada 5,0 m, procediendo posteriormente a inyectar cada 1,0, 1,5, 2,0 y 2,5 m, se aprobará como mínimo una reducción del 75% de las inyecciones, en perforaciones contiguas.

Una vez definida la grilla de inyección, se ejecutarán inyecciones de prueba cada 20 m, con la misma razón agua/cemento y N° de GIN utilizado con anterioridad, por lo que debe existir un registro detallado de estos valores.

Si bien el método GIN es auto-regulante en función de la calidad de la roca, es oportuno como regla general desarrollar un programa de ensayos preliminares para definir los parámetros esenciales (Valor GIN, distancia taladros, etc.) en cada una de las zonas geológicas y geomecánicas interesadas por la inyección. En lo posible los tramos de prueba serán incorporados en la obra definitiva ya que a no haber llegado a los resultados esperados, siempre se puede completar en tratamiento de la roca con inyecciones adicionales.

Respecto del sellado de grietas, el U.S. Bureau Reclamation establece una profundidad mínima para el sellado de discontinuidades:

$$d = 0{,}007b \cdot H + 1{,}5m$$

Donde d es la profundidad de limpiado y sellado; b es el ancho de la fractura y H es la altura de agua sobre el sello de fundación. Es este caso se debiera considerar el sello de las inyecciones como sello de fundación.

## *6.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO*

### 6.3.1. Descripción General del Área de Estudio

#### 6.3.1.1. Aspectos Generales

Tal como se indica en el acápite 4.4.3-1 del capítulo 4, para caracterizar cada alternativa de ubicación de embalse desde el punto de vista geomorfológico se consideró la información proporcionada por el modelo de elevación digital GDEM- ASTER, con 90 m de resolución.

Esta información se procesó en una plataforma SIG con tal de delimitar cada cuenca y obtener los principales parámetros geomorfológicos, dicha delimitación se realizó en GRASS-GIS. En el Cuadro

6.3.1.1-1 se muestra el resumen de los parámetros obtenidos para cada alternativa y la delimitación de cada cuenca.
En el Cuadro 6.3.1.1-1 se muestra el área, largo del cauce, pendiente media ($S_{med}$), altura mínima ($H_{min}$), altura máxima ($H_{max}$), altura media ($H_{med}$) y el desnivel máximo de cotas en cada cuenca. La información se presenta con más detalle en el en el acápite 4.4.3-1 del capítulo 4.

**CUADRO 6.3.1.1-1**
**DESCRIPCIÓN GEOMORFOLOGICA DE CADA ALTERNATIVA**

| Alternativa | Área ($km^2$) | Largo Cauce (km) | Smed (%) | Hmin (msnm) | Hmax (msnm) | Hmed (msnm) | Desnivel Máximo (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alternativa 1 | 1.231 | 54,8 | 26 | 1.932 | 5.224 | 3.818 | 3.292 |
| Alternativa 2 | 1.231 | 55,2 | 26 | 1.929 | 5.224 | 3.818 | 3.295 |
| Alternativa 3 | 1.231 | 55,4 | 26 | 1.919 | 5.224 | 3.818 | 3.305 |

Fuente: Elaboración Propia.

## 6.3.1.2. Recopilación de Antecedentes Relevantes para el Estudio Hidrológico

La única subcuenca de la Hoya de la Pampa del Tamarugal que cuenta con registros fluviométricos y pluviométricos de larga data corresponde a la Quebrada de Tarapacá, por lo que la estimación para las otras quebradas siempre se ha realizado en forma indirecta en base a los registros de esta subcuenca.
La recopilación de estudios de los recursos hídricos superficiales que se consideraron de importancia para el presente informe corresponde a los indicados en acápite 4.4.3.2 del Capítulo 4, en donde se detallan sus principales resultados.

## 6.3.2. Pluviometría

Para estimar la precipitación representativa de las cuencas de las alternativas de sitios de muro ALT1, ALT2 y ALT3 se utilizó la información tanto de las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca vecina como de estudios anteriores, además se realizó la extensión y relleno de la precipitación. Como resultado se obtuvo 122 mm para las Alternativas 1, 2 y 3. En el Cuadro 6.3.2.2-2 se muestra la precipitación media anual para cada alternativa, considerando la serie corregida de Chuzmiza hasta el periodo más reciente 2011/12. El desarrollo y detalle de los cálculos se presenta en acápite 4.4.4 del Capítulo 4.

**CUADRO 6.3.2-1**
**PRECIPITACIÓN ANUAL EN DISTINTAS ALTERNATIVAS Q. DE AROMA**

| Año Hidrológico | $Pp_{Chuzmiza}$ | $PpAlt_{1,2,3}$ | Año Hidrológico | $Pp_{Chuzmiza}$ | $PpAlt_{1,2,3}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1988/89 | 73 | 74 | 2001/02 | 144 | 147 |
| 1989/90 | 42 | 43 | 2002/03 | 23 | 23 |
| 1990/91 | 33 | 34 | 2003/04 | 67 | 68 |
| 1991/92 | 0 | 0 | 2004/05 | 135 | 137 |
| 1992/93 | 106 | 108 | 2005/06 | 171 | 173 |


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1993/94 | 5 | 5 | 2006/07 | 71 | 72 |
| 1994/95 | 63 | 64 | 2007/08 | 175 | 178 |
| 1995/96 | 52 | 53 | 2008/09 | 10 | 10 |
| 1996/97 | 309 | 314 | 2009/10 | 12 | 12 |
| 1997/98 | 77 | 78 | 2010/11 | 251 | 255 |
| 1998/99 | 612 | 622 | 2011/12 | 465 | 472 |
| 1999/00 | 81 | 82 | $Pp_{Media}$ | 143 | 145 |
| 2000/01 | 453 | 460 | Desviación | 163 | 166 |

Fuente: Elaboración Propia.

### 6.3.3. Precipitación Máxima

En base a las estaciones con registros pluviométricos se realizó un ajuste de frecuencia para obtener las precipitaciones máximas asociada a distintos periodos de retorno tal como se indica en el acápite 4.4.4.3.

La precipitación máxima en 24 hrs asociada a cada alternativa para los periodos de retorno 5, 10, 20, 50, 100, 1.000 y 10.000 se muestra en el Cuadro 6.3.3-1 se muestran los valores de precipitación máxima en 24 hrs para las distintas alternativas. El detalle de los cálcuos para la estimación de la precipitación máxima se presenta en el acápite 4.4.4.3.

**CUADRO 6.3.3-1**
**PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA SEGÚN TENDENCIA CENTRAL (mm)**

| Alternativa | Altura Media (msnm) | Periodo de Retorno (años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 1.000 | 10.000 |
| ALT1 | 3.818 | 23 | 30 | 37 | 46 | 53 | 78 | 107 |
| ALT2 | 3.818 | 23 | 30 | 37 | 46 | 53 | 78 | 107 |
| ALT3 | 3.818 | 23 | 30 | 37 | 46 | 53 | 78 | 107 |

Fuente: Elaboración Propia.

### 6.3.4. Evaporación

La Evaporación Potencial se estimó del mapa de Evapotranspiración Potencial CNR, 2010. El Cuadro 6.3.3-1 muestra el valor de la evaporación mensual considerada para el modelo de operación preliminar. Según el BHCH la estimación de Evaporación para la zona corresponde del orden de 2.000 mm.

**CUADRO 6.3.4-1**
**EVAPORACIÓN MENSUAL PRELIMINAR ADOPTADA PINTANANE**

| Mes | Valor (mm) | Mes | Valor (mm) |
|---|---|---|---|
| Enero | 170 | Julio | 122 |
| Febrero | 164 | Agosto | 133 |
| Marzo | 158 | Septiembre | 147 |


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Abril | 140 | Octubre | 164 |
| Mayo | 128 | Noviembre | 175 |
| Junio | 117 | Diciembre | 182 |
| Anual | 1.800 | - | - |

Fuente: CNR, 2010.

Según el estudio de DICTUC, 2008, se muestran los valores de evaporación registrados por estaciones en la zona. En el Cuadro 6.4.3-2 se muestran los valores de evaporación registrados por estaciones de la Quebrada de Tarapacá y de la Pampa del Tamarugal.

**CUADRO 6.3.4-2**
**EVAPORACIÓN MENSUAL PRELIMINAR ADOPTADA PINTANANE**

| Estación | Evaporación (mm) | Altura (msnm) |
|---|---|---|
| Huara en Fuerte Baquedano | 3.043 | 1.000 |
| Pampa Lirima Lagunilla | 1.763 | 3.940 |
| Cerro Colorado | 2.653 | 2.630 |

Fuente: DICTUC, 2008, a partir de Estaciones BNA-DGA.

Se observan grandes diferencias de la Evaporación, según los datos de evaporación de tanque medidos por las estaciones DGA. Se debe tener en cuenta que los valores del Cuadro 3.3-2 presentan la máxima evaporación en condiciones óptimas en cada instrumento, sin considerar factores que pudieran interferir en el proceso de evaporación real directamente desde un embalse.

## 6.3.5. Fluviometría

## 6.3.5.1. Antecedentes Disponibles y Metodología

La cuenca que posee registros con estaciones vigentes corresponde a Quebrada de Tarapacá, mientras que la Quebrada de Aroma solo cuenta con la Estación Río Aroma en Alagnusca en un periodo antiguo y corto (1929-1930), sin embargo corresponde a los únicos registros del BNA ya que no se ha instalado ninguna otra estación por parte de los servicios correspondientes. En el acápite 4.4.5.1 se presentan en detalle las series de cada estación.
Los únicos métodos para estimar el caudal en la Quebrada de Aroma corresponden a métodos indirectos de escalamiento o precipitación-escorrentía. El caudal medio anual en los distintos puntos de la cuenca de de Quebrada de Aroma se realizó mediante un escalamiento estadístico en base a un modelo con parámetros calibrado en la Quebrada de Tarapacá. La metodología utilizada y su desarrollo se describen en el acápite 4.4.5.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

### 6.3.5.2. Resumen de Caudales

En el Cuadro 6.3.5.2-1 se muestran los parámetros de Área y Caudal asociado a cada alternativa. El desarrollo de los cálculos se presenta en el acápite 4.4.5.1.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**CUADRO 6.3.5.2-1**
**CAUDAL MEDIO CADA ALTERNATIVA**

| Alternativas | Área(Km²) | Pp(mm) | Q(m³/s) |
|---|---|---|---|
| ALT1 | 1.230 | 122 | 0,328 |
| ALT2 | 1.231 | 122 | 0,329 |
| ALT3 | 1.231 | 122 | 0,329 |

Fuente: Elaboración Propia

En los Cuadros 6.3.5.2-2 se muestran los valores de caudal asociado a distintas probabilidades de excedencia.

**CUADRO 6.3.5.2-2**
**CAUDALES ALTERNATIVAS DE EMBALSE QUEBRADA DE AROMA**

| Alternativa 1, 2 y 3 (m³/s) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_{exc}$% | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Anual |
| 5 | 0,383 | 0,400 | 0,554 | 4,067 | 5,360 | 1,375 | 0,750 | 0,580 | 0,617 | 0,643 | 0,536 | 0,468 | 0,584 |
| 10 | 0,300 | 0,302 | 0,413 | 2,250 | 3,159 | 0,968 | 0,576 | 0,460 | 0,490 | 0,505 | 0,429 | 0,379 | 0,505 |
| 15 | 0,255 | 0,250 | 0,338 | 1,509 | 2,211 | 0,763 | 0,483 | 0,394 | 0,420 | 0,429 | 0,369 | 0,328 | 0,458 |
| 50 | 0,127 | 0,112 | 0,146 | 0,278 | 0,490 | 0,280 | 0,228 | 0,204 | 0,218 | 0,215 | 0,195 | 0,179 | 0,302 |
| 85 | 0,064 | 0,050 | 0,063 | 0,051 | 0,108 | 0,103 | 0,108 | 0,106 | 0,113 | 0,107 | 0,103 | 0,098 | 0,199 |
| 90 | 0,054 | 0,041 | 0,052 | 0,034 | 0,076 | 0,081 | 0,090 | 0,090 | 0,097 | 0,091 | 0,089 | 0,085 | 0,180 |
| $Q_{medio}$ | 0,153 | 0,142 | 0,197 | 0,543 | 0,887 | 0,472 | 0,281 | 0,237 | 0,258 | 0,257 | 0,225 | 0,204 | 0,327 |

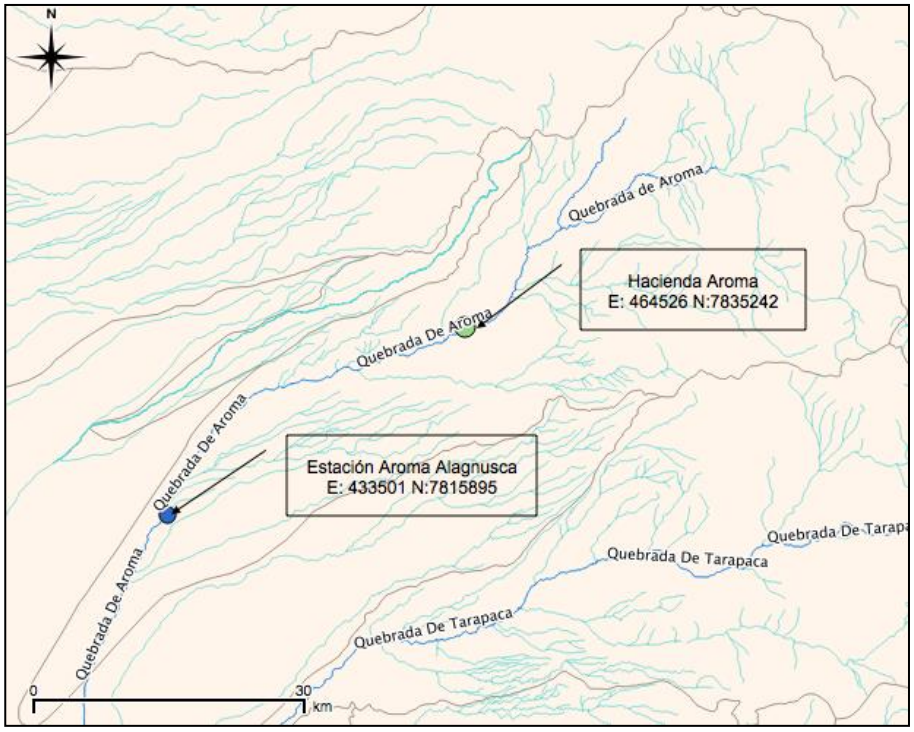
Fuente: Elaboración Propia.

## 6.3.5.3. Registros y Campañas de Aforo Quebrada de Aroma

Los únicos registras fluviométricos que existen en la Quebrada Aroma en el BNA-DGA corresponden a los caudales medios mensuales de la Estación Q. Aroma en Alagnusca (DGA-BNA) (1929-1930), en el que se estiman 329 L/s. Por otro lado existen aforos reportados en el estudio Hidrografía de las Zonas Desérticas de Chile (Klohn 1972), donde se informa sobre aforos realizados por Jara, 1929, en el sector de Hacienda Aroma, en dicha sección se estimó un caudal del orden de 245 L/s. En la Figura 6.3.5.3-1 se muestra la ubicación de ambos puntos.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.3.5.3-1**
**UBICACIÓN DE ESTACIÓN AROMA EN ALAGNUSCA Y HACIENDA AROMA**




Fuente: Elaboración Propia.

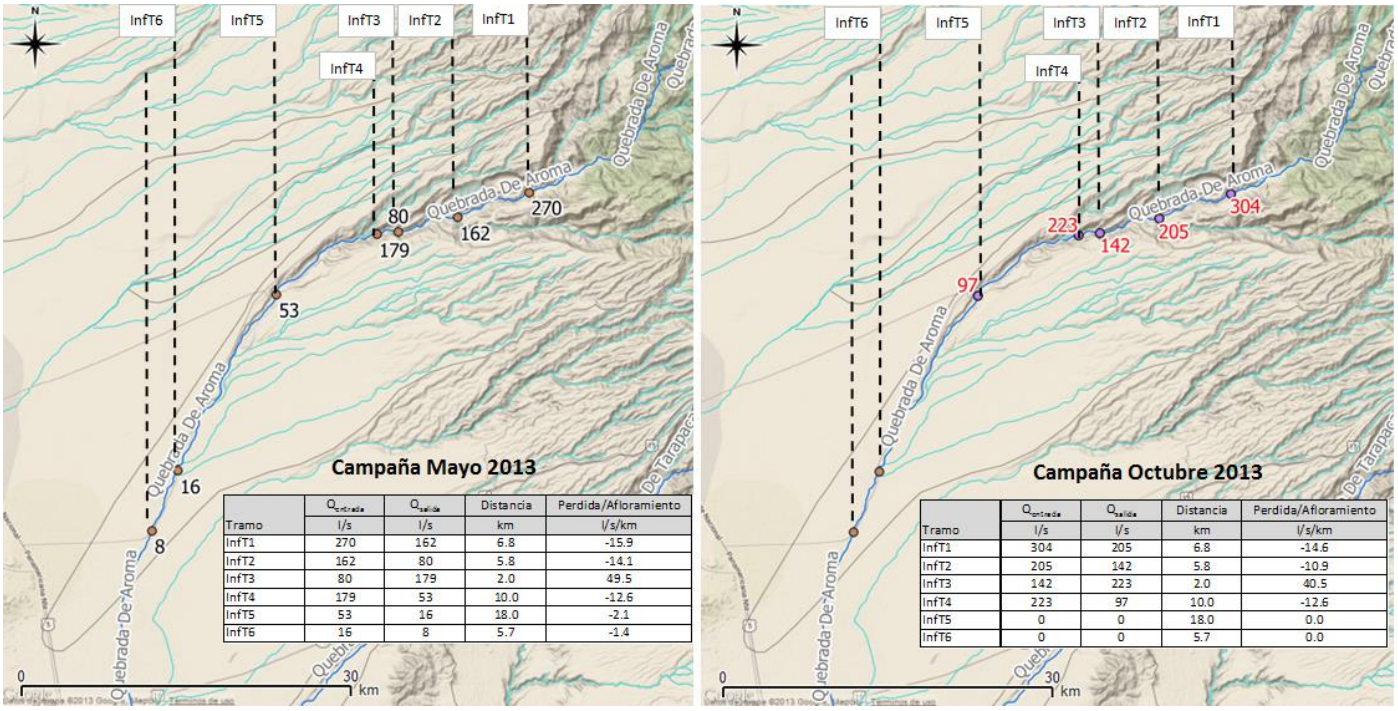
En el Cuadro 6.3.5.3-1 se muestran los caudales aforados en el sector de Hacienda Aroma:
Para tener una visión actual del comportamiento de los caudales en la zona de estudio se realizaron dos campañas de aforo, durante el mes de Mayo 2013 y Octubre 2013. En la Figura 6.3.5.3-2 se muestran los resultados de los aforos realizados, en los que se incluye también la pérdida por infiltración y/o afloramiento.

**FIGURA 6.3.5.3-1**
**UBICACIÓN DE ESTACIÓN AROMA EN ALAGNUSCA Y HACIENDA AROMA**

| 1928 | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Q (L/s) | 300 | 230 | 200 | 150 | 60 | 100 | 100 | 93 |
| **1929** | **Enero** | **Febrero** | **Marzo** | **Abril** | | | | |
| Q (L/s) | 457 | 390 | 462 | 400 | | | | |

Fuente: Estudio para Dirección de Riego, Jara, 1929.

**FIGURA 6.3.5.3-2**
**CAMPAÑAS DE AFORO EN QUEBRADA DE AROMA**




Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que en la ubicación de la Alternativa 3 se registró en Mayo un caudal de 270 L/s (237 L/s estimado en el Cuadro 6.3.5.2-2) y en Octubre un caudal de 304 L/s (153 L/s estimado en el Cuadro 6.3.5.2-2). Se debe tener en cuenta que estos valores son registros puntuales, mientras que los estimados en el Cuadro 6.3.5.2-2 corresponden a valores instantáneos, por lo que no es posible ajustar o corregir los valores estimados de forma indirecta, pero se observa que se encuentran dentro del rango de caudales que produce la cuenca. Por otro lado se observa una zona de afloramiento en la zona denominada Inf 3. En el Anexo 5-12 se muestra los aforos realizados.

## 6.3.5.4. Estimación de Caudales Máximos

- **Aspectos Generales**

Al igual que la estimación de los caudales medios, al no contar con registros de una estación fluviométrica se procedió a estimar mediante relaciones de precipitación-escorrentía los valores de crecida.
La Dirección General de Aguas, para las crecidas ocurridas el mes de Febrero de 2012 realizó una campaña de aforo, en la que se emitió la siguiente minuta:
*"Río Aroma: Durante el año en su desembocadura llega con caudales del orden de 0,150 $m^3/s$, ahora bien, debido a las crecidas este río llego al poblado de Huara, lo cual no ocurría desde el año 2001. En este sector se separó en dos brazos, pudiendo medir sólo uno de ellos ya que el otro venía con un*

*caudal demasiado rápido y no se encontró ninguna estructura en altura para su medición. El caudal medido en uno de sus brazos fue de 6,090 m³/s" (Minuta DGA, 2012)*

En la Figura 6.3.5.4-1 se muestran dos figuras del punto de aforo de la Quebrada de Aroma y de su atravieso con la ruta 15.

**FIGURA 6.3.5.4-1**

**AFORO EN CRECIDA FEBRERO 2012 QUEBRADA DE AROMA EN RUTA 15CH**



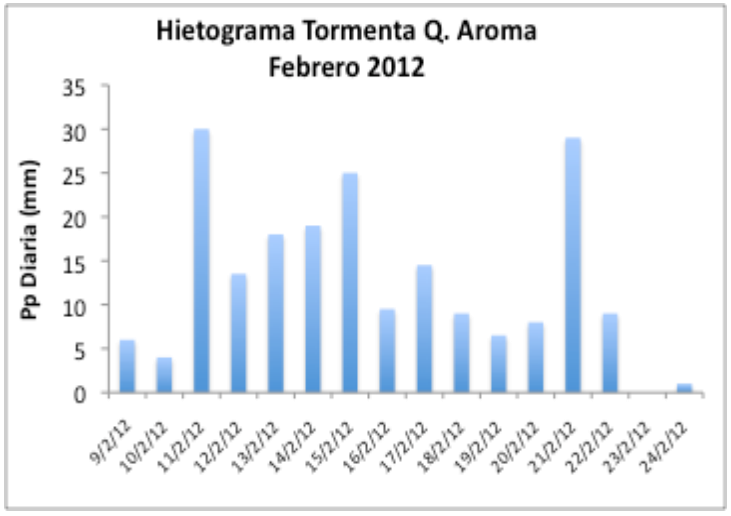
Fuente: DGA, 2012.

Dicho aforo se realizó al finalizar una tormenta de varios días de duración el 22 de febrero 2012, que pudo ser registrada por la estación Chiapa, tal como se muestra en el hietograma de la Figura 6.3.5.4-2.

En lo que sigue se aplican formulas clásicas para la estimación de crecidas Formula Racional, Verni King e Hidrograma Unitario Sintético. La estimación de caudales máximos se realizó mediante expresiones empíricas de Verni-King y Formula Racional, dado que no existen registros fluviométricos en la Quebrada de Aroma.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.3.5.4-2**
**HIETOGRAMA TORMENTA FEBRERO 2012**




Fuente: DGA, 2012.

- **Fórmula Racional**

Para la determinación el caudal máximo de crecida, la expresión del Método Racional tiene la siguiente forma:

$$Q = \frac{C * i * A}{3.6}$$

Donde:

Q = Caudal máximo para un periodo determinado ($m^3/s$).
C = Coeficiente de Escorrentía Modificado.
A = Área de la cuenca aportante ($km^2$).
i = Intensidad de la lluvia de diseño (mm/h).

La intensidad de lluvia de diseño se adopta como la intensidad asociada al tiempo de concentración y se obtiene de la relación Grunsky:

$$I_{tc} = \frac{P_{24}^{T}}{24} * \frac{\sqrt{24}}{\sqrt{t_C}}$$


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

Donde:

$I_{tc}$ = Intensidad media máxima para el periodo (mm/hr).

$P_{24}^{T}$ = Precipitación máxima en 24 horas para el periodo de retorno de T.

$t_C$ = Tiempo de concentración (h)

El tiempo de concentración ($t_C$) de la cuenca aportante se define como el tiempo necesario para que la partícula de agua, hidráulicamente más alejada, alcance el punto de salida de la cuenca, este se puede determinar mediante la fórmula de "California Highways and Public Works:

$$tc = 0{,}95 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0{,}385}$$

Donde:

tc = Tiempo de concentración en horas.

L = Longitud del cauce principal, en km

H = Diferencia de elevación en m entre el comienzo del cauce principal y el punto estudiado.

En el Cuadro 6.3.5.4-1 se muestran los parámetros de las cuencas aportantes a las alternativas de interés.

**CUADRO 6.3.5.4-1**
**TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE CADA ALTERNATIVA**

| Alternativa | Largo Cauce (km) | $H_{min}$ (msnm) | $H_{max}$ (msnm) | Desnivel (m) | Tc (h) |
|---|---|---|---|---|---|
| ALT1 | 54,8 | 1.932 | 5.224 | 3.292 | 4,3 |
| ALT2 | 55,2 | 1.929 | 5.224 | 3.295 | 4,3 |
| ALT3 | 55,4 | 1.919 | 5.224 | 3.305 | 4,3 |

Fuente: Elaboración Propia.

En el Cuadro 6.3.5.4-2 se muestra la intensidad máxima asociada al tiempo de concentración para cada alternativa estimada mediante la expresión de Grunsky.

**CUADRO 6.3.5.4-2**
**INTENSIDAD MÁXIMA ASOCIADA AL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (mm/h)**

| Alternativas | Periodo de Retorno (años) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 1.000 | 10.000 |
| ALT1 | 3,1 | 4,1 | 5,1 | 6,4 | 7,4 | 8,9 | 11,2 | 15,4 |
| ALT2 | 3,1 | 4,0 | 5,0 | 6,4 | 7,4 | 8,9 | 11,1 | 15,4 |
| ALT3 | 3,1 | 4,0 | 5,0 | 6,4 | 7,4 | 8,9 | 11,1 | 15,4 |

Fuente: Elaboración Propia.

El coeficiente de escurrimiento se adoptó como un coeficiente empírico (Cuadro 6.3.5.4-3) de manera que tal que se ajustó a los valores de caudal máximo estimados mediante el análisis de frecuencia en la estación fluviométrica R. Tarapacá en Mina San Juan. De esta manera este coeficiente permite estimar valores representativos del comportamiento de los caudales instantáneos máximos observados en la zona de estudio.

**CUADRO 6.3.5.4-3**

## COEFICIENTE "C(T)" RACIONAL EMPÍRICO AJUSTADO

| Periodo de Retorno | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 1.000 | 10.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C(T) Racional Ajustado | 0,021 | 0,026 | 0,032 | 0,039 | 0,044 | 0,050 | 0,063 | 0,081 |

Fuente: Elaboración Propia.

En el Cuadro 6.3.5.4-4 se muestran los caudales estimados mediante el método racional con coeficiente C(T) empírico ajustado para las diferentes zonas de alternativas en Quebrada de Aroma.

### CUADRO 6.3.5.4-4
### CAUDAL MÁXIMO ESTIMADO MEDIANTE FÓRMULA RACIONAL (m³/s)

| Sitio de Muro | Área (km²) | 0,75*Área (km²) | Periodo de Retorno (años) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 1.000 | 10.000 |
| ALT1 | 1.230 | 923 | 16 | 27 | 41 | 64 | 85 | 114 | 180 | 320 |
| ALT2 | 1.231 | 923 | 16 | 27 | 41 | 63 | 84 | 113 | 179 | 318 |
| ALT3 | 1.231 | 923 | 16 | 27 | 41 | 63 | 84 | 113 | 179 | 318 |

Nota: Se indica el área en la que efectivamente hay precipitación

Fuente: Elaboración Propia.

- **Verni King**

Al igual que la fórmula racional, la expresión de Verni-King se modificó mediante un coeficiente empírico C(T). La expresión de la Fórmula de Verni-King tiene la siguiente forma:

$$Q = c(T) * 0{,}00615 * P^{1,24} * A^{0,8}$$

Donde:

Q : Gasto máximo en m³/s
P : Precipitación máxima en 24 horas, en mm.
A : Superficie de la cuenca, en km².
C(T): Coeficiente Empírico Ajustado

En el Cuadro 6.3.5.4-5 se muestra el valor de los coeficientes empíricos ajustados para la expresión de Verni-King.

### CUADRO 6.3.5.4-5
### COEFICIENTE EMPÍRICO VERNI-KING

| Periodo de Retorno | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 1.000 | 10.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coeficiente Empírico V.K. | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,16 |

Fuente: Elaboración Propia.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el Cuadro 6.3.5.4-6 se muestra el valor del caudal máximo estimado mediante la expresión de Verni-King y el coeficiente empírico ajustado.

**CUADRO 6.3.5.4-6**
**CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO VERNI-KING (m³/s)**

| Sitio de Muro | Área (km²) | 0,75*Área (km²) | Periodo de Retorno (años) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 1.000 | 10.000 |
| ALT1 | 1.230 | 923 | 15 | 23 | 32 | 47 | 61 | 80 | 120 | 208 |
| ALT2 | 1.231 | 923 | 15 | 23 | 33 | 47 | 61 | 80 | 107 | 179 |
| ALT3 | 1.231 | 923 | 15 | 23 | 33 | 47 | 61 | 80 | 107 | 179 |

Nota: Se indica el área en la que efectivamente hay precipitación

Fuente: Elaboración Propia.

- **Hidrograma Unitario Sintético**

Para estimar el caudal máximo y los volúmenes asociados a crecidas de diferentes periodos de retorno se utilizó el Hidrograma Unitario Sintético. Para aplicar esta metodología se considera un hidrograma unitario adimensional y posteriormente se distribuye la precipitación para distintos periodos de retorno de acuerdo a los hietogramas propuestos por Espíldora y Echaverría, 1979. La precipitación de diseño corresponde a la precipitación máxima asociado a una determinada duración para distintos períodos de retorno. Se utilizó el Hidrograma Unitario Sintético de Linsley estándar, donde se consideran las siguientes expresiones, para una duración de exceso de lluvia dada:

Tiempo al peak:

$$t_p = C_t \left( \frac{L_C * L_G}{\sqrt{S}} \right)^{nt}$$


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

Tiempo precipitación unitaria:

$$t_u = \frac{t_p}{5{,}5}$$

Caudal Peak:

$$q_p = C_p t_p^{n_p}$$

Tiempo Base:

$$T_B = C_B t_p^{n_b}$$

Tiempo al Peak corregido:

$$t_p^{`} = t_p + \frac{t_r - t_u}{4}$$

Donde:

$t_r$= duración de la lluvia unitaria (h)
$t_p$=Tiempo de retardo o tiempo transcurrido entre el centro de gravedad de la lluvia efectiva y el pico del hidrograma de escorrentía directa (h)
$T_B$=Tiempo base del hidrograma (h)
$q_p$=Caudal peak del hidrograma (L/s/km$^2$)

Los parámetros que definen el hidrograma han sido considerados en base al estudio de Arteaga y Benítez (1986). En el Cuadro 6.3.5.4-7 se muestran los valores más representativos de la zona de estudio.

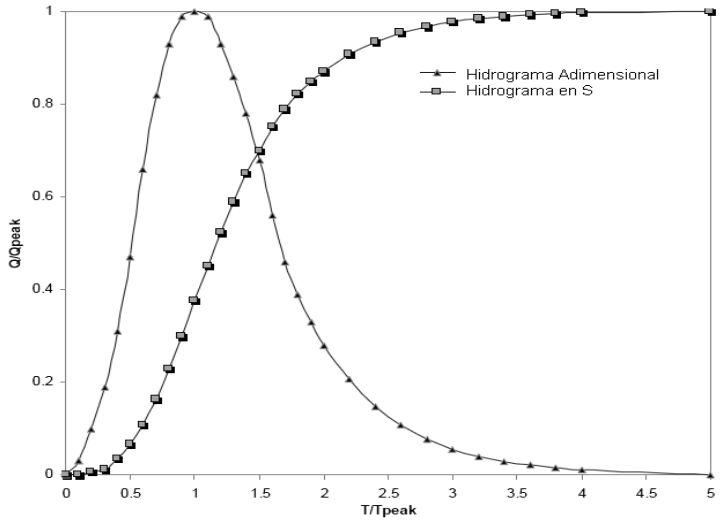
**CUADRO 6.3.5.4-7**
**COEFICIENTES PARA OBTENCIÒN DE PARÁMETROS DEL HIDROGRAMA UNITARIO**

| Parámetro | Valores | Parámetro | Valores |
|---|---|---|---|
| $C_t$ | 0,3240 | $n_p$ | -0,7840 |
| $n_t$ | 0,4210 | $C_B$ | 5,0430 |
| $C_p$ | 140,0 | $n_B$ | 0,8442 |

Fuente: Arteaga y Benítez (1986)

La Figura 6.3.5.4-3 presenta el hidrograma unitario adimensional definido para una cuenca ideal según el SCS.

**FIGURA 6.3.5.4-3**
**HIDROGRAMA ADIMENSIONAL SCS**

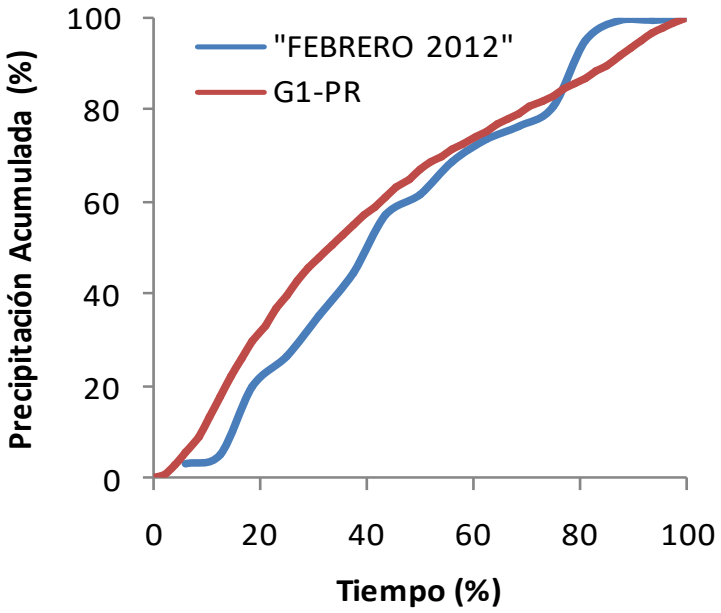



Fuente: SCS, 1979.

La distribución de la precipitación se realizó mediante las curvas propuestas por Espíldora y Echaverría (1979), en las que se analizaron lluvias para distintas duraciones y se obtuvieron 3 distribuciones tipo (adelantada, centrada y atrasada), de las que se selecciono la distribución centrada. Si bien los coeficientes presentados en el Cuadro 6.3.5.4-7 se consideran representativos para obtener los parámetros del hidrograma unitario sintético de la zona de estudio, el tiempo al peak fue ajustado según valores observados en la zona. Este valor se ajusto en 2,4 hrs considerando el estudio del Embalse Livilcar, desarrollado por MN Ingenieros, DOH 2012. El valor de Curva Número adoptado corresponde a 80, en el estudio de Embalse Livilcar se adoptó un valor de 70.
Para determina el caudal máximo asociado a distintos periodos de retorno se considero una duración de 72 horas, considerando que este valor maximiza el peak de la crecida. La distribución de la tormenta se determinó en base al ajuste de Espíldora del Grupo 1, que corresponde a la distribución que mejor se ajustó al hietograma de la tormenta registrada en Chiapa en Febrero del año 2012 de duración de 17 días, tal como se muestra en la Figura 6.3.5.4-4.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.3.5.4-4**
**DISTRIBUCIÓN ESPILDORA GRUPO 1 VERSUS HIETOGRAMA REGISTRADO EN CHIAPA QUEBRADA DE AROMA**




En el Cuadro 6.3.5.4-8 se muestra el caudal máximo obtenido mediante HUS para los distintos periodos de retorno.

**CUADRO 6.3.5.4-8**
**CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO SEGÚN HUS (m³/s)**

| Sitio de Muro | Área (km²) | 0,75*Área (km²) | Periodo de Retorno (años) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 1.000 | 10.000 |
| ALT1 | 1230 | 923 | 26 | 51 | 80 | 121 | 154 | 212 | 285 | 521 |
| ALT2 | 1231 | 923 | 26 | 51 | 80 | 121 | 154 | 212 | 285 | 521 |
| ALT3 | 1231 | 923 | 26 | 51 | 80 | 121 | 154 | 212 | 285 | 521 |

Nota: Se indica el área en la que efectivamente hay precipitación

Fuente: Elaboración Propia.

- **Caudales Adoptados**

En el Anexo Digital 6-2 se muestran los cálculos e hidrogramas de cada alternativa. La estimación del caudal máximo se realizó mediante análisis de frecuencia, Formula Racional, Verni-King e Hidrograma Unitario Sintético.
Se adoptaron como definitivos los caudales provenientes de la Formula Racional Ajustados, ya que esta fórmula se ajustó mediante un coeficiente empírico a los resultados del análisis de frecuencia en la cuenca vecina de Quebrada de Tarapacá. En el Cuadro 6.3.5.4-9 se muestra el resultado para cada alternativa de embalse.

**CUADRO 6.3.5.4-9**


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## CAUDAL ADOPTADOS ($m^3/s$)

| Sitios de Muro | Periodo de Retorno (años) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 1.000 | 10.000 |
| ALT1 | 16 | 27 | 41 | 64 | 85 | 114 | 180 | 320 |
| ALT2 | 16 | 27 | 41 | 63 | 84 | 113 | 179 | 318 |
| ALT3 | 16 | 27 | 41 | 63 | 84 | 113 | 179 | 318 |

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, se consideran como representativos los caudales obtenidos mediante el método racional, ya que como se mencionó anteriormente representa valores estimados a partir de coeficientes de escorrentía ajustados en la zona de estudio.

- **Hidrogramas y Volúmenes de Crecidas Adoptados**

Los hidrogramas de crecida asociados a tormentas de 72 hrs de duración se ajustaron a los valores de caudales máximos adoptados para cada periodo de retorno. De esta manera se obtuvieron los hidrogramas asociados a tormentas para periodos de Retorno 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años.
En la Figura 6.3.4.4-5 se muestra la Figura de los hidrogramas de crecida asociados a 72 hrs y en el Cuadro 6.3.5.4-10 se muestran los volúmenes y caudales asociados a cada evento.

## CUADRO 6.3.5.4-10
## VOLÚMENES DE CRECIDAS AJUSTADOS EN QUEBRADA DE AROMA

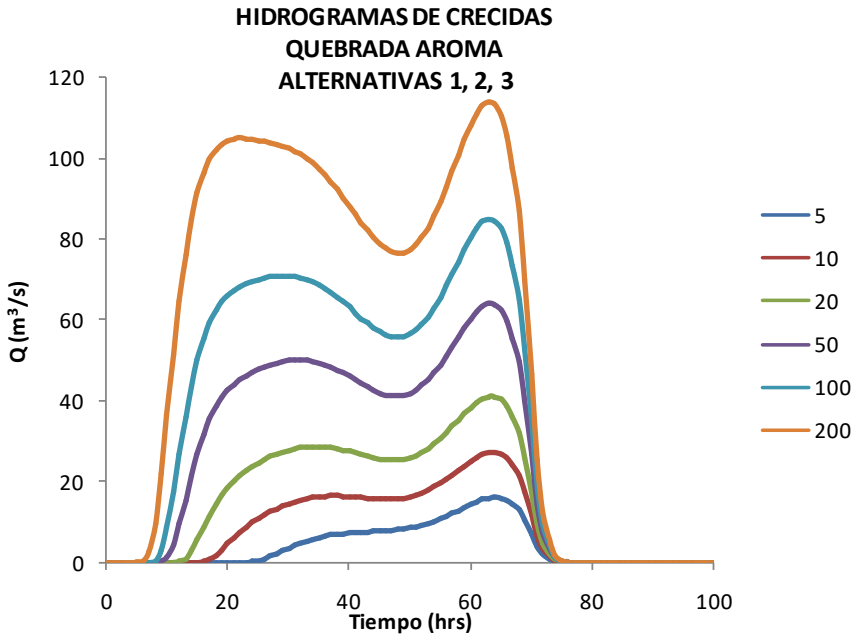
| Periodo de Retorno (años) | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen ($hm^3$) | 1,5 | 3,2 | 5,6 | 9,8 | 14,0 | 20,4 |

Fuente: Elaboración Propia.

De esta manera se cuenta con los hidrogramas de crecidas de tormentas de duración de 72 hrs en las que el caudal máximo corresponde al caudal adoptado mediante el método racional, valores que se ajustaron según registro de la Cuenca de Quebrada de Tarapacá, que corresponde a la única cuenca con registros de caudales de crecidas.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.3.5.4-5**
**HIDROGRAMAS DE CRECIDAS AJUSTADOS EN QUEBRADA AROMA ASOCIADO A PERIODO DE RETORNOS (AÑOS)**




Fuente: Elaboración Propia.

## 6.3.6. Volumen Muerto

El Volumen Muerto corresponde al volumen estimado de sedimentos que se acumularán en el embalse producto de los sólidos generados por la cuenca asociada a cada alternativa durante la vida útil del proyecto de 50 años. Se ha definido este volumen para las cinco alternativas de sitio. Para la estimación del volumen de sedimentos en suspensión (GSS) del embalse, se aplicaron los siguientes métodos simplificados:

- **Pérdida Universal de Suelo Modificada, MUSLE:** Esta metodología permite estimar el volumen de pérdida de suelo asociada a distintos eventos de crecidas, corresponde a una versión modificada de la metodología USLE.

- **Método SCS, PSIAC:** Esta metodología permite estimar las tasas de erosión según las características propias de la cuenca, en la que se consideran aspectos como geología, topografía, uso de suelo, clima, erosión superficial, cubierta, erosión de cauce.

Adicional a la estimación de la producción de sedimento (GSS) también se considero un Gasto Sólido de Arrastre de Fondo. El Gasto Solido de Arrastre de Fondo (GSF) se estima como el 10% del GSS estimado a partir de ambas expresiones. El Gasto de sólidos Total es la suma de los anteriores. Se ha considerado una eficiencia de retención igual a (60%), lo que define el volumen muerto más realista. En el Anexo 6-3 se muestran los resultados para cada metodología.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

En el Cuadro 6.3.6-1 se muestra la tasa considerando el gasto solido total y la eficiencia de atrape.

**CUADRO 6.3.6-1**

**TASA DE SEDIMENTO TOTAL MEDIANTE MUSLE Y PSIAC**

| Alternativa | Metodología | | |
|---|---|---|---|
| | MUSLE (t/día/km²) | PSIAC Rango Inf. (t/día/km²) | PSIAC Rango Sup. (t/día/km²) |
| ALT1 | 0,70 | 0,22 | 0,54 |
| ALT2 | 0,70 | 0,22 | 0,54 |
| ALT3 | 0,70 | 0,22 | 0,54 |

Fuente: Elaboración Propia.

Otra expresión para estimar la producción de sedimentos corresponde a la expresión obtenida de diferentes embalses según la USBR (Small Dams, 1974). Esta expresión se obtuvo a partir de la cantidad de sedimento acumulado en 28 embalses en cuencas semiáridas. En el Cuadro 6.3.6-2 se muestra el valor de la tasa obtenida mediante USBR. Esta expresión considera sedimentos en suspensión y de arrastre que han quedado atrapados en los embalses, por lo que no se debe considerar factores de eficiencia de atrape.

**CUADRO 6.3.6-2**

**TASA DE SEDIMENTO TOTAL MEDIANTE USBR**

| Alternativas | Metodología | |
|---|---|---|
| | USBR Rango Medio (t/día/km²) | USBR Rango Inferior (t/día/km²) |
| ALT1 | 0,33 | 0,13 |
| ALT2 | 0,33 | 0,13 |
| ALT3 | 0,33 | 0,13 |

Fuente: Elaboración Propia.

Los valores obtenidos mediante la metodología de MUSLE se consideran altos, mientras que la tasa inferior de la USBR entrega tasas muy bajas con respecto a las otras alternativas. Los volúmenes calculados se presentan en el Cuadro 6.3.6-3.

**CUADRO 6.3.6-3**

**VOLUMEN MUERTO SEGÚN METODOLOGIA MUSLE Y PSIAC PROMEDIO**

| Alternativa | MUSLE ($hm^3$) | PSIAC Promedio ($hm^3$) |
|---|---|---|
| ALT1 | 5,8 | 5,2 |
| ALT2 | 5,8 | 5,2 |
| ALT3 | 5,8 | 5,2 |

Se consideran 50 años de operación del embalse; $\gamma = 1.65\ t/m^3$


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente se adoptó un valor de 6,0 $hm^3$ para el volumen muerto de las alternativas de embalse.

### 6.3.7. Caracterización Hidrogeológica

#### 6.3.7.1. Aspectos Generales

En este acápite del informe se presenta una caracterización de la hidrogeología de la zona de la presa propuesta además de la capacidad de infiltración de la quebrada. El análisis presentado se basa en información disponible, e información generada en el marco de este estudio, tal como un estudio gravimétrico, sondajes eléctrico verticales (SEV), y campañas de aforos.

#### 6.3.7.2. Información Disponible

La información disponible corresponde a lo indicado en el Catastro Público de Aguas, el que indica en su versión actualizada a Abril 2012, que aguas abajo de la zona del embalse no hay pozos profundos. Dado que los TR indican que se deben realizar pruebas de bombeo en pozos cercanos, la ausencia de sondajes impide realizar esta actividad. Se hace notar que no es de utilidad realizar pruebas en zonas muy alejadas del sitio de embalse, ya que los resultados carecen de valor predictivo para la zona de embalse.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## 6.3.7.3. Estudio Gravimétrico

- **Descripción**

El método gravimétrico de prospección determina la morfología del basamento en base a medidas realizadas en superficie de pequeñas variaciones de la componente vertical del campo de gravedad terrestre.
Estas variaciones se deben a una distribución irregular en profundidad de masas de densidades diferentes. En otras palabras aquellos cuerpos que tienen una densidad mayor que las del entorno producen un alto en la gravedad o viceversa, estos altos o bajos gravimétricos producirán anomalías positivas o negativas respectivamente.
En la actualidad los instrumentos empleados en prospecciones de este tipo, están diseñados para medir variaciones en el valor de la aceleración de la gravedad del orden del centésimo de miligal.
Los datos de gravedad son tomados en diversas situaciones por lo que deben ser referidos a un plano datum, normalmente es el nivel medio del mar. Esta referencia contempla la eliminación de efectos conocidos que influyen sobre las medidas y estos son las siguientes: latitud, altura, Bouguer y topografía. También existe la corrección por mareas terrestres la cual se asimila a la corrección por deriva debido a su pequeña magnitud. A continuación se describe brevemente las cuatro primeras correcciones que se le realizaron a los datos:
Este método aprovecha las diferencias de la gravedad en distintos sectores. La gravitación es la aceleración ($m/s^2$) de un objeto qué está cayendo a la superficie. La gravitación normal (promedia) en la tierra es 9,80665 $m/s^2$. Grandes cuerpos mineralizados pueden aumentar la gravitación en una región determinada porque rocas de mayor densidad aumentan la aceleración.
El método gravimétrico de prospección se sustenta normalmente en medidas realizadas en la superficie de la tierra del campo potencial de ella. Este campo potencial se ve perturbado por la distribución de estructuras geológicas de densidades y profundidades diferentes, por lo que conociendo aquellas se puede llegar a una interpretación lo más probable de su distribución de masas de diferentes densidades en profundidad. Los fundamentos físicos del método son la 1era y 2da ley de Newton expresadas de la siguiente forma:

$$F = G \frac{m_1 \, m_2}{r^2}$$

en que:

$F =$ Fuerza ejercida entre las partículas de masa $m_1$ y $m_2$

$r =$ Distancia entre las partículas

$G =$ constante de gravitación universal cuyo valor obtenido experimentalmente es 6,670 x $10^{-11}$ $m^3 kg^{-1} s^{-2}$.

$$a = G \frac{m_2}{r^2}$$

en que:

$a =$ Aceleración de un cuerpo de masa $m_1$ atraído por una masa $m_2$.

El procedimiento del método es medir en superficie pequeñas variaciones de la componente vertical del campo de gravedad. Para ello en la actualidad se han diseñado instrumentos que miden la centésima y milésima de un miligal (1 miligal = $10^{-3}$ gal= $10^{-3}$ cm $s^{-2}$.). Estos instrumentos se instalan


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

en superficie con su eje en la dirección del campo mediante niveles de burbuja. Como las anomalías de la gravedad son muy pequeñas comparadas con el valor medio del campo gravitatorio terrestre se deduce que la dirección es prácticamente constante, normal a la superficie según se vio anteriormente.

Los datos de gravedad son tomados en lugares diferentes, estos requiere que sean referidos a un plano datum para ser comparables entre ellos, normalmente este datum es el nivel medio del mar.

Usando esta referencia se pueden eliminar los efectos que influyen sobre las medidas y son los siguientes: altura, Bouguer, y latitud. En lo que sigue se describen brevemente las correcciones realizadas a los datos.

**Corrección de Altura:** Esta corrección considera la variación de la gravedad por efecto de altura, considerando como referencia el nivel medio del mar, su valor es de 0,3086 mGal/m.

**Corrección de Bouguer:** Esta corrección considera el efecto de masa existente entre la estación medida y el plano datum. Para corregir este efecto se resta la atracción de una placa horizontal plana de extensión infinita de altura igual a la de la estación sobre el plano datum. El valor es de 0,0419 $\rho$ [mGal/m], en que $\rho$ corresponde a la densidad de la placa considerada.

El valor de esta corrección depende de la densidad del material involucrado. En este caso se asignó un valor de 2,1 g/cm$^3$ para el depósito sedimentario compuesto por arcillas, gravas y cenizas compactadas en épocas recientes. Con la densidad considerada la corrección de Bouguer toma el valor de 0,08799 mGal/m.

**Corrección por latitud:** Esta corrección considera el efecto de gravedad debido a la latitud en que se encuentra la lectura de las estaciones de gravedad. Para ello se usó la formula:

$$g_0 = g_{ec}\,(1 + C_1\,Sen^2\,\varphi + C_2\,Sen^2\,2\varphi)$$

donde:

$g_0$ = Gravedad Teórica (mGal)

$g_{ec}$ = 978031.85 mGal (valor de gravedad normal en el Ecuador)

$C_1 = 0.005302357$

$C_2 = -\,0.000005864$

$\varphi$ = latitud

- **Trabajo de Terreno**

El trabajo de terreno se efectuó durante los días 31 de Julio al 2 de Agosto de 2013. La programación del estudio en terreno se realizó mediante el conocimiento adquirido durante la campaña sísmica.

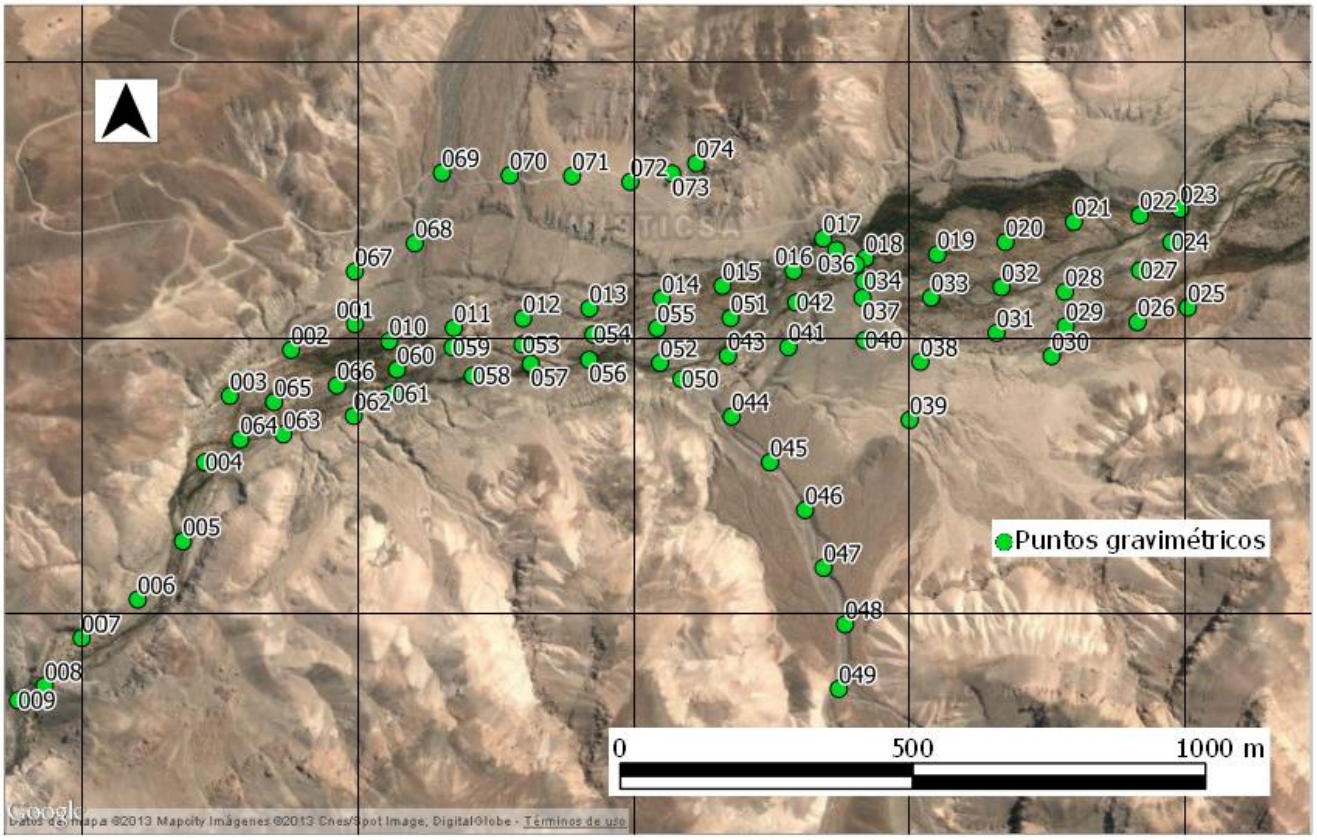
En el trabajo de terreno participaron los señores Diego Mena, Álvaro Araneda y Manuel Araneda, adicionalmente se contó con la colaboración del geólogo señor Brian Armstrong para aclarar ciertas dudas sobre las formaciones geológicas existentes. Las estaciones gravimétricas fueron replanteadas en el instante en que fueron tomadas mediante el sistema GPS.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

Las medidas fueron tomadas mediante un gravímetro LaCoste y Romberg modelo G y N° de serie 463 de SEGMI. La precisión de este instrumento es de la centésima de un mgal, ($10^{-3}$ gal). La fábrica especifica una deriva instrumental aproximada de 1 mgal/mes. Para los cierres parciales de las medidas gravimétricas se estableció una base auxiliar en el sector del levantamiento el cual estuvo ligado a la estación de gravedad ubicada en la bifurcación de la ruta 5 con la entrada a Fuerte Baquedano la cual pertenece a la Red Nacional de Gravedad.
En la Figura 6.3.7.3-1 se muestra la distribución de cada punto gravimétrico medido en terreno. En total se realizaron 76 mediciones.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.3.7.3-1**
**DISTRIBUCIÓN DE MEDICIONES GRAVIMÉTRICAS EN ZONA DE INUNDACIÓN**




Fuente: Elaboración Propia. a partir de Qgis

- **Interpretación**

La interpretación de los datos de gravedad se basa en encontrar el modelo que mejor se ajuste a los datos de densidades de las formaciones involucradas, así como toda la información de geología, sondajes y otras observaciones que cubran el área investigada.
El proceso inicial en la interpretación es tener los datos de gravedad corregidos, es decir llevados a un mismo nivel de referencia. Posteriormente se introduce en el programa de modelamiento (GM SYS INT), el cual por medio de iteraciones sucesivas se obtiene el cuerpo que mejor se ajusta a la gravedad observada (residual).

- **Resultados y Comentarios**

Los resultados de la interpretación de los datos de gravedad se pueden observar en la Figura 6.3.7.3-2 a 6.3.7.3-3. Estas figuras muestran el modelo de profundidad calculado a partir del residual obtenido (anomalía de Bouguer menos el regional del área) complementado con antecedentes geológicos y observaciones de terreno.

Analizados en conjunto los resultados de profundidades en los distintos perfiles e interpolados posteriormente se pudo obtener un plano isobático de la morfología del basamento rocoso, Figura 6.3.7.3-4.

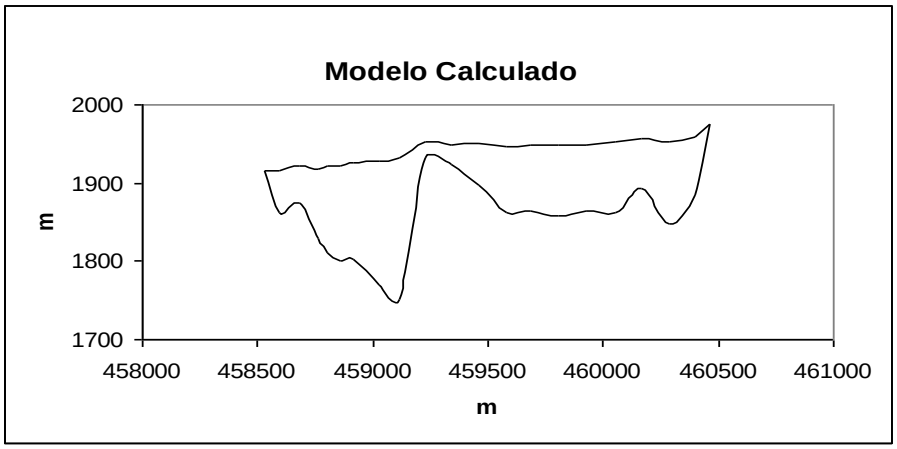
El análisis del isobático muestra una morfología bastante irregular con altos y bajos de la roca basal calculada. Las profundidades mayores alcanzan aproximadamente 170 m en el sector NO y E. También es importante destacar que hay sectores de altos en el basamento que se muestran en la zona central y en la parte NE. Gran parte de las rocas aflorantes son tobas con diferentes grados de consolidación (densidades) lo cual hace a veces compleja la interpretación para áreas reducidas.

El informe íntegro se presenta en el Anexo 6-4.

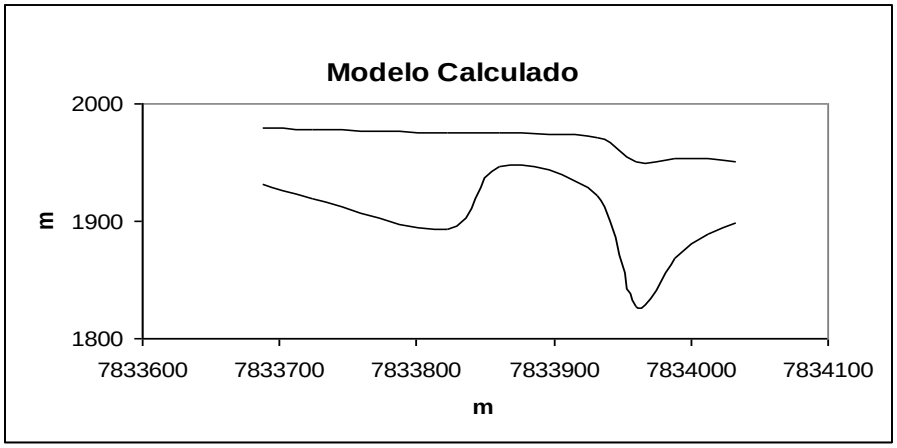

*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## FIGURA 6.3.7.3-2
## PERFILES DE TERRENO OBTENIDOS Perfil 1 A 3

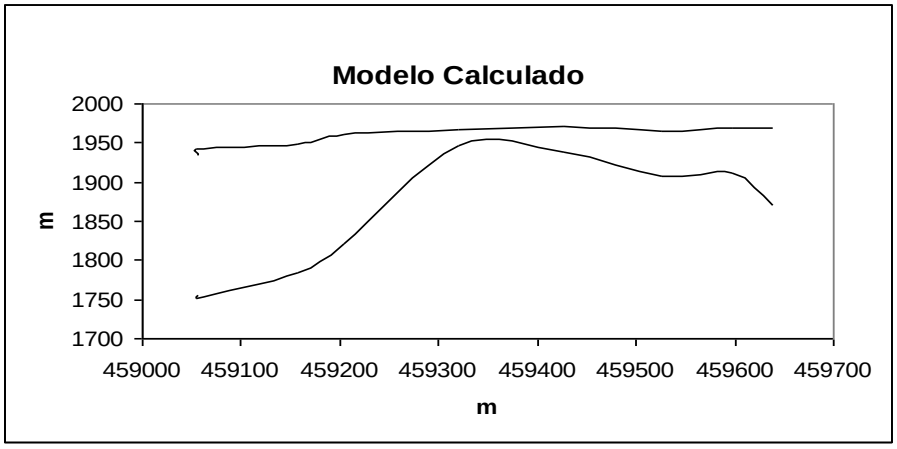
**Perfil 1**




**Perfil 2**




**Perfil 3**



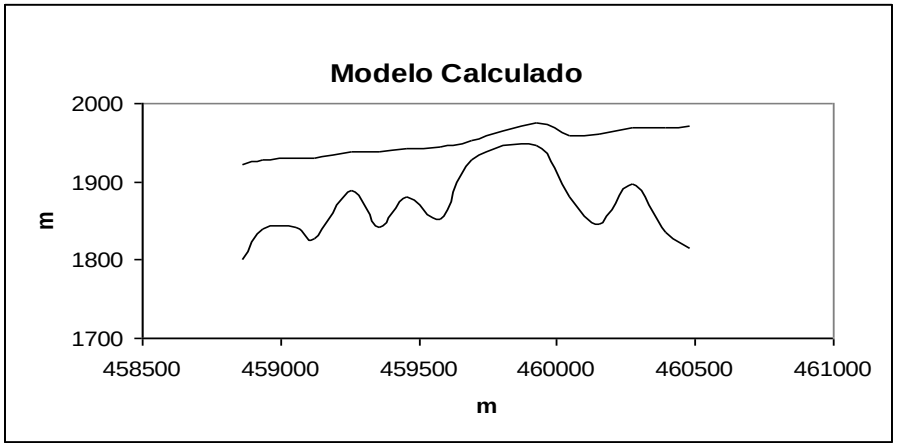

Fuente: SEGMI


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

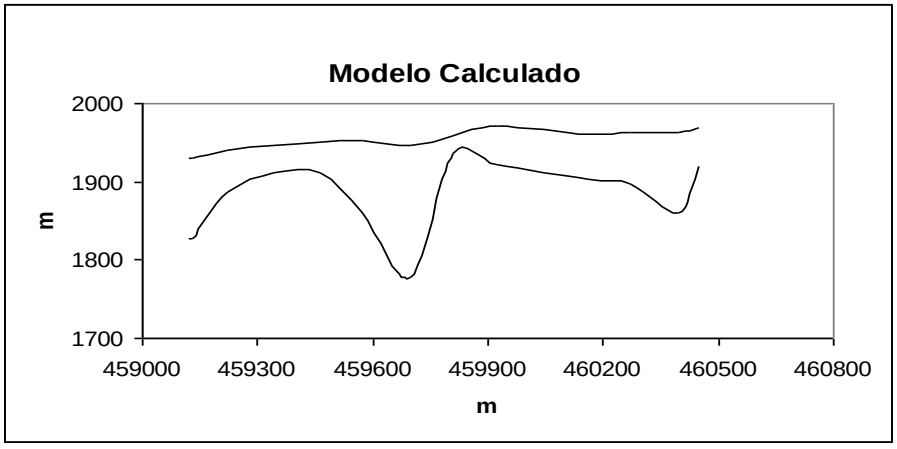
*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.3.7.3-3**
**PERFILES DE TERRENO OBTENIDOS Perfil 4 A 6**

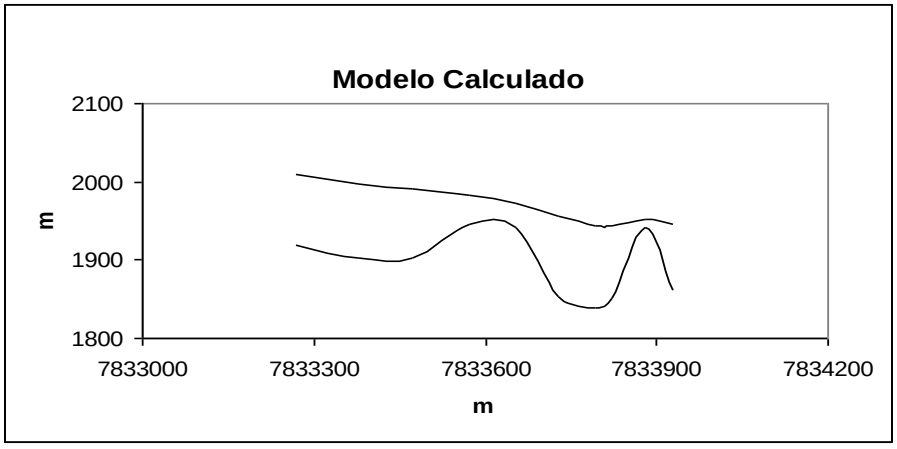
**Perfil 4**




**Perfil 5**



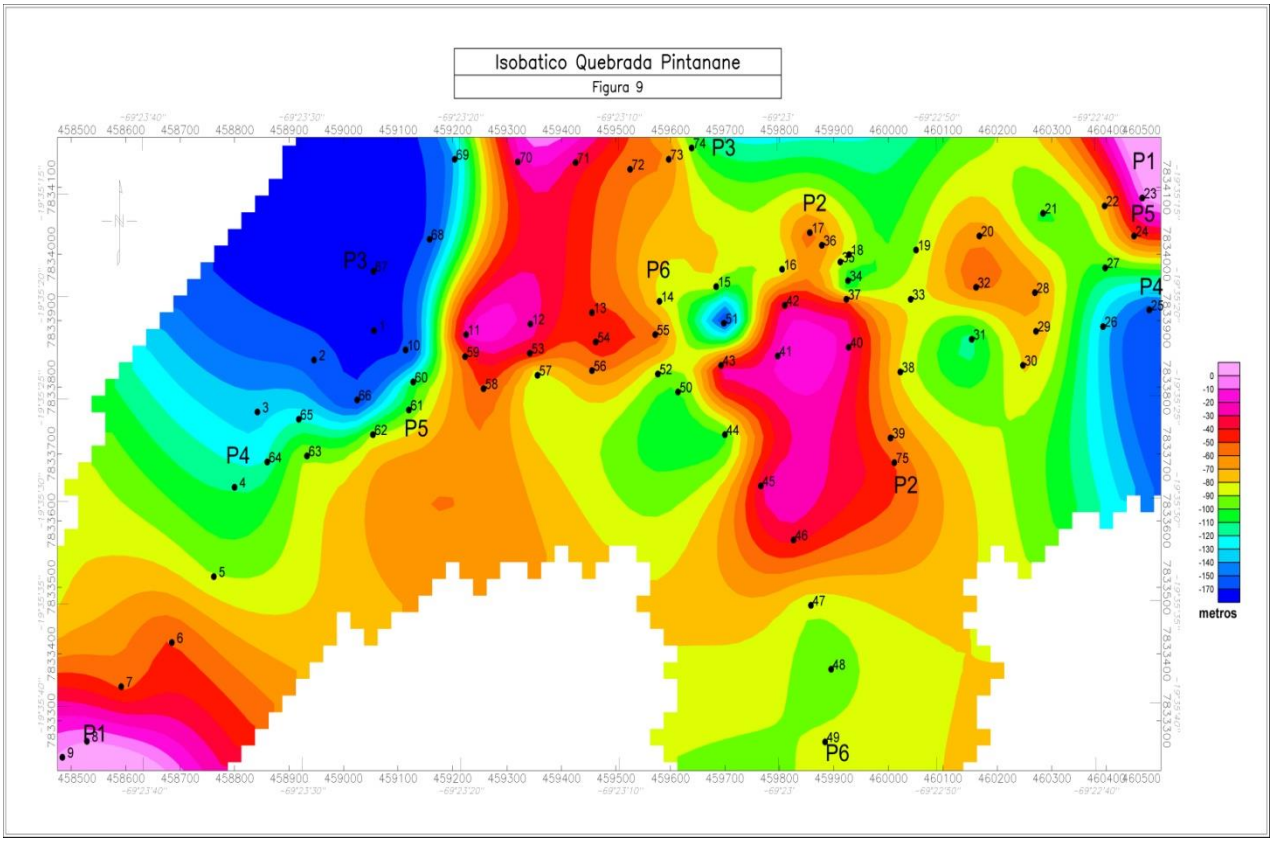

**Perfil 6**




Fuente: SEGMI


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.3.7.3-4**
**PLANO ISOBÁTICO QUEBRADA PINTANANE**




Fuente: SEGMI

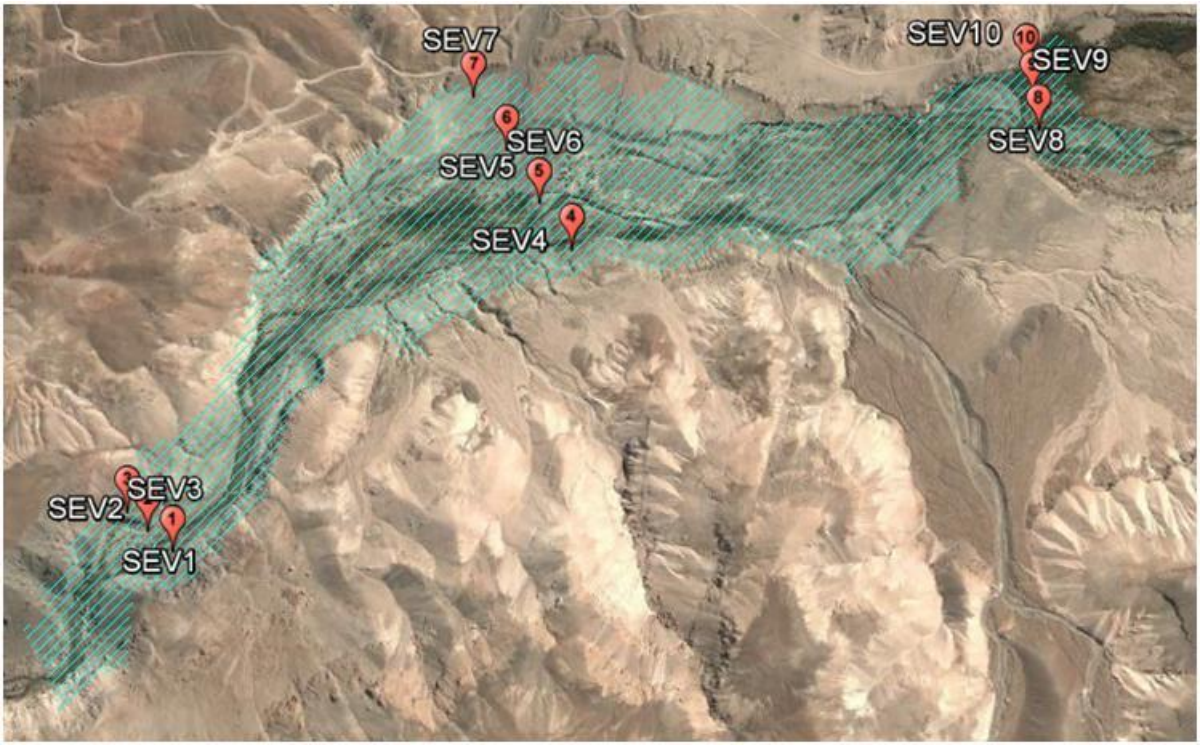
## 6.3.7.4. Sondajes Eléctrico Verticales

- **Objetivos**

El objetivo de este proyecto es diseñar y realizar estudios geofísicos in situ que permitan conocer con mayor detalle la estratificación del subsuelo y la identificación de acuíferos subterráneos, mediante la caracterización geofísica de las propiedades eléctricas de los materiales que lo componen. Con este fin, se ha establecido que los estudios geofísicos se realizarán en tres perfiles transversales a la cuenca para evaluar su estratigrafía en los extremos y al centro de la zona a estudiar.
Para ello, se ha proyectado la realización de Sondajes Eléctricos Verticales (SEV) en modalidad Schlumberger, que es la técnica que entrega mejores resultados en este tipo de aplicaciones. La Figura 6.3.7.4-1 muestra la ubicación proyectada de los ensayos geofísicos, donde el área achurada representa la zona de inundación del futuro embalse.

**FIGURA 6.3.7.4-1**
**UBICACIÓN DE ENSAYOS GEOFÍSICOS PROYECTADOS**


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*




Fuente: Geoexploraciones S.A.

La profundidad de investigación estimada para los ensayos geofísicos es de 200 m, aunque dependerá de las condiciones del terreno y la factibilidad técnica que exista para realizar los tendidos de cables requeridos en este método geofísico.

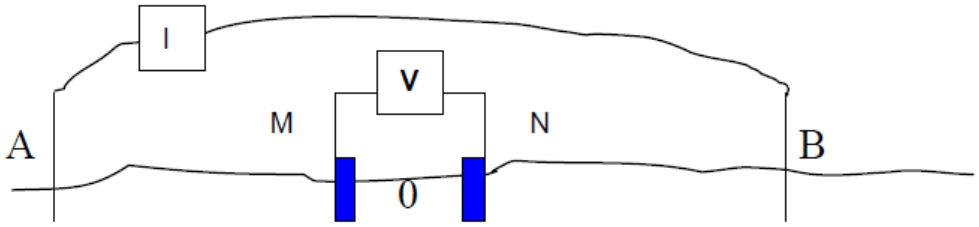
- **Aspectos Metodológicos**

El método geoeléctrico consiste en la realización de Sondajes Eléctricos Verticales (SEV) en modalidad Schlumberger.
Este método tiene como objetivo investigar la distribución vertical de resistividades eléctricas bajo el punto central del dispositivo usado.
La condición ideal para la aplicación del método de Sondajes Eléctricos es que el subsuelo corresponda a una formación de capas homogéneas y además planas y paralelas entre sí y al suelo superficial.
Experimentalmente se demuestra, sin embargo, que la respuesta es adecuada incluso para inclinaciones de hasta 30º.
A fin de medir en terreno los parámetros a interpretar, se usa un sistema doble de electrodos tanto de emisión (A B) como de recepción (M N). Leyendo la corriente entregada en A B y el potencial en M N es posible determinar a través de correcciones geométricas un valor de resistividad aparente para profundidades crecientes.
El método geofísico de investigación propuesto en este caso es el de Sondeo Eléctrico Vertical. El tipo de dispositivo usado es el Schlumberger. En este dispositivo, los electrodos de medida M y N se sitúan simétricamente a la distancia del punto de estación 0. Los electrodos de corriente, de


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

igual forma, a la distancia variable L, y de forma que los cuadro electrodos queden alineados sobre el terreno (ver Figura 6.3.7.4-2).

**FIGURA 6.3.7.4-2**
**ESQUEMA UBICACIÓN ELEMENTOS PARA DESARROLLO SONDAJE SEV**




Fuente: Geoexploraciones S.A.

Las resistividades aparentes obtenidas durante el desarrollo del estudio se llevan en coordenadas bilogarítmicas a un gráfico contra la apertura de los electrodos transmisores AB/2. La curva obtenida, constituye el dato de terreno que luego se usa en la interpretación de los S.E.V. Esto último se logra a través de un software computacional especialmente desarrollado para este tipo de trabajo y de sistemas numéricos sofisticados que implica iterar las numerosas soluciones posibles.

- **Resistividad y Equivalencia Litológica**

La resistividad de los medios no depende en general de los agregados sólidos que lo componen, ya que normalmente los minerales constitutivos de las rocas (silicatos) son perfectamente aislantes.
La excepción a este caso general la constituyen los minerales conductores tales como algunos súlfuros, metales nativos, grafito y cierta medida las arcillas por fenómenos de polarización de las moléculas de agua adheridas.
Sin embargo, todos los medios geológicos presentan mayor o menor porosidad y/o fracturamiento, que al estar rellenas con electrólitos les dan un carácter conductor. A su vez, el aumento de la concentración de sales disueltas en los fluidos que ocupan los poros, aumenta considerablemente el carácter conductor de las rocas.
Es por ello que en general la resistividad de un medio estará asociada a su porosidad, contenido de electrólitos o arcillas.
En el Cuadro 6.3.7.4-1 se muestra los rangos normales de resistividades que se encuentran en las formaciones que se señalan.

**CUADRO 6.3.7.4-1**
**CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO EN TÉRMINOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

| SUELOS | RESISTIVIDADES (Ω-m) |
|---|---|
| Margas | $10^0$ - $10^2$ |
| Arcillas | $10^0$ - $10^2$ |
| Limos | $10^1$ - $10^2$ |
| Arenas | $10^1$ - $10^3$ |


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

| | |
|---|---|
| Gravas | $10^1$ - $10^4$ |
| Agua Dulce | 30 - $10^3$ |
| Agua Salada | $10^{-1}$ - $10^0$ |
| Rocas Consolidadas | $10^3$ - $10^5$ |

Fuente: Geoexploraciones S.A.

Como se aprecia el rango de diferentes suelos se traslapa y la correlación entre litología y resistividad dependerá del conocimiento de la geología y las características propias de cada zona.

- **Trabajos de Terreno**

Los trabajos en terreno se efectuaron entre los días 08 y 15 de Octubre del 2013, lo cual consideró visitas de reconocimiento y definición de perfiles en cada uno de los sectores a estudiar. El proyecto contempló la ejecución de 9 Sondajes Eléctricos Verticales (SEV) distribuidos en el sector, con lo cual se proyectaron tres perfiles perpendiculares a la cuenca de la Quebrada de Aroma.

El acceso a la cuenca se realiza a través de un camino de tierra habilitado para vehículos de doble tracción que bordea la cuenca por su lado norte. Sin embargo, sólo existe una bajada en el sector poniente del área de estudio, razón por la cual la mayor parte de los trabajos (PG2 y PG3) tuvo que hacerse mediante desplazamiento a pie del personal y del equipamiento, lo que aumentó considerablemente la duración de los trabajos.

El terreno se caracterizó por su accidentado relieve y, en numerosas ocasiones, por su alta resistencia de contacto superficial al paso de corrientes eléctricas, lo que obligó a realizar tareas preliminares de ejecución de pozos y el regado de los mismos con abundante agua salada para la instalación de los electrodos de corriente. La etapa posterior consistió en la instalación de los dispositivos (cables eléctricos, motor/generador, transmisor de corrientes, etc.) y la toma de medidas geoeléctricas.

Además, dentro de estas actividades, se realizaron mediciones in-situ de resistencia de contacto del terreno y pruebas de inyección de corriente. Estas mediciones son muy importantes para este método geofísico, pues de ellas dependerá la calidad de los resultados que se obtengan, esto se observa en la Figura 6.3.7.4-4.

El análisis de estas mediciones indican que la aridez del terreno es bastante alta, por lo que presenta una resistencia eléctrica de contacto elevada frente a la inyección de corriente requerida para la ejecución de los ensayos; por este motivo, en cada punto de excitación (aproximadamente 30 por cada SEV) habrá que excavar un pozo tipo calicata que deberá rellenarse con material más conductivo, y que luego será sometido a un proceso de preparación, regado y reposo que permita bajar la resistencia de contacto. Una vez que todos los pozos de un ensayo presentan condiciones eléctricas adecuadas, se instalan en su interior unos electrodos que permiten realizar la inyección de corriente para excitar eléctricamente el subsuelo mientras simultáneamente se mide su respuesta en un segundo conjunto de pozos, también provistos de electrodos, aunque su número es menor y que no requieren de tanta preparación.

**FIGURA 6.3.7.4-3**
**TOMA PERFIL GEOELÉCTRICO**


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*



Fuente: Geoexploraciones S.A.

Los puntos sondeados fueron materializados en terreno por medio de estacas de madera debidamente rotuladas.

En el Cuadro 6.3.7.4-2 detalla la ubicación de los diferentes SEV, con sus coordenadas UTM Sirgas WGS84-19K, medidas con un navegador GPS de baja precisión (métrica).

**CUADRO 6.3.7.4-2**
**UBICACIÓN DE SONDAJES ELÉCTRICOS VERTICALES**

| Perfil | Denominación del SEV | Coordenadas UTM WGS84-19K | |
|---|---|---|---|
| | | Este | Norte |
| PG1 | SEV 1 | 458.656 | 7.833.386 |
| | SEV 2 | 458.673 | 7.833.377 |
| PG2 | SEV 4 | 459.244 | 7.833.808 |
| | SEV 5 | 459.217 | 7.833.848 |
| | SEV 6 | 459.152 | 7.833.930 |
| | SEV 7 | 459.099 | 7.834.020 |
| PG3 | SEV 8 | 459.705 | 7.833.876 |
| | SEV 9 | 459.673 | 7.833.907 |
| | SEV 10 | 459.647 | 7.833.935 |

Fuente: Geoexploraciones S.A.

Como se indicó, la compleja topografía de la cuenca obstaculizó el desarrollo de los trabajos. En particular el SEV 3 no se realizó debido a que la estrechez de la cuenca en el perfil PG1 sólo permitía la ejecución de dos ensayos en vez de tres, como se había proyectado. Otro factor importante considerado para la ubicación de los ensayos fue el espacio disponible para realizar el tendido de cables hacia ambos lados del punto central; la extensión máxima lograda fue de 800 metros (AB/2= 400m), lo que a su vez limitó la profundidad máxima de investigación.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

Además, como se comentó anteriormente, la alta resistencia de contacto superficial existente en ciertos puntos hizo que en algunos casos se obtuvieran medidas ruidosas que se reflejan en las curvas obtenidas, especialmente en el SEV 4 y SEV 6, y que afectó la calidad de la interpretación.

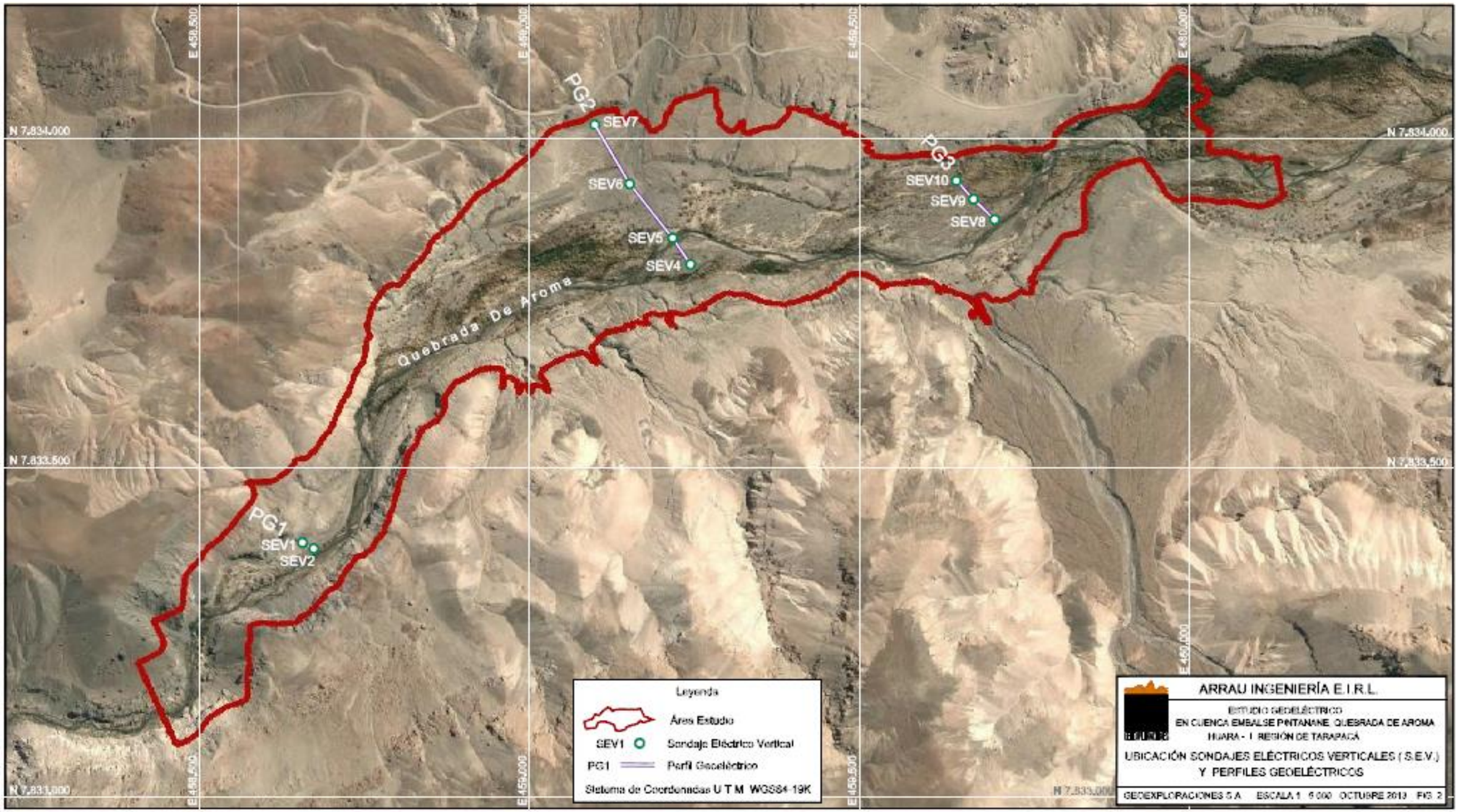
- **Resultados**

La interpretación de cada uno de los nueve SEV, cuyas curvas se encuentran en el Anexo 6-4, se efectúa en forma computacional utilizando un software especialmente desarrollado para tal efecto. La ubicación de los perfiles realizados se presenta en la Figura 6.3.7.4-4.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURA 6.3.7.4-4**
**UBICACIÓN PERFILES ELÉCTRICO VERTICALES**




Fuente: Geoexploraciones S.A.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**Perfil PG1 (Figura 6.3.7.4-5):** Perfil ubicado en el extremo Suroeste, aguas abajo, en una zona estrecha de la cuenca, que está definido por los SEV 1 y 2 con separaciones de 20 m entre ellos, y cuya distribución tiene una orientación SE-NW. Se proyectó un tercer ensayo (SEV 3) que por lo estrecho de la cuenca no se pudo realizar. Se identifican 5 estratos geoeléctricos principales:

- Estrato superficial con resistividades eléctricas muy variadas de entre 13 y 360 Ω-m, y un espesor menor que 2 m. Posiblemente esté asociado a rellenos fluvio-aluviales de distinto tipo.

- Estrato con resistividad eléctrica de entre 6 y 14 Ω-m, con un espesor de entre 4 y 6 m, probablemente asociado a arenas y arcillas saturadas.

- Estrato con resistividad eléctrica de entre 25 y 30 Ω-m, con un espesor de entre 25 y 30 m. Probablemente esté asociado a arenas, gravas y bolones.

- Estrato con resistividad eléctrica de 4 Ω-m, con un espesor de entre 8 y 35 m, aumentando hacia el Sureste, hacia el interior de la cuenca. Probablemente esté asociado a arenas y limos saturados con contenidos de sales y minerales.

- Estrato con resistividad eléctrica mayor que 90 Ω-m. Probablemente esté asociado a conglomerados densos.

**Perfil PG2 (Figura 6.3.7.4-6):** Perfil ubicado en la parte más ancha de la cuenca del área estudiada, y definido por los SEV 4 al 7 con separaciones de 50 y 105 m aproximadamente, y cuya distribución tiene una orientación SE-NW. Se identifican los siguientes estratos geoeléctricos principales:

- Estrato superficial con resistividades eléctricas muy variadas de entre 100 y 3.500 Ω-m, y un espesor menor que 2 m. Posiblemente esté asociado a rellenos fluvio-aluviales de distinto tipo.

- Estrato con resistividad eléctrica de entre 40 y 70 Ω-m, con un espesor de entre 4 y 41 m, donde el mayor espesor se detecta hacia el centro de la cuenca y el menor hacia los extremos, no detectándose en el SEV 4, en el extremo Sureste. Probablemente esté asociado a arenas, gravas y bolones.

- Estrato con resistividad eléctrica de entre 4 y 11 Ω-m, con un espesor de entre 20 y 63 m, aumentando hacia el Noroeste. Probablemente esté asociado a arenas y limos saturados con aguas con contenidos de sales y minerales.

- Estrato con resistividad eléctrica de entre 25 y 35 Ω-m, con un espesor de entre 30 y 35 m, solo detectado en la mitad Sureste del perfil. Probablemente esté asociado a arenas, gravas y bolones o a material aluvial.

- Estrato con resistividad eléctrica de 4 Ω-m, con un espesor de 32 m sólo detectado en el SEV 4. Probablemente esté asociado a arenas y limos saturados con aguas con contenidos de sales y minerales.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

- Estrato con resistividad eléctrica mayor que 40 Ω-m. Probablemente esté asociado a conglomerados densos.

**Perfil PG3 (Figura 6.3.7.4-7):** El perfil ubicado en el extremo Noreste, aguas arriba, está definido por los SEV 8, 9 y 10 con separaciones de 40 y 45 m aproximadamente, y cuya distribución tiene una orientación SE-NW. Se identifican 5 estratos geoeléctricos principales:

- Estrato superficial con resistividades eléctricas entre 22 y 650 Ω-m, y un espesor de entre 0,6 y 3 m. Posiblemente esté asociado a rellenos fluvio-aluviales de distinto tipo.

- Estrato que sólo se detecta en el SEV 9 con resistividad eléctrica de 8 Ω-m y con un espesor de 4 m. Probablemente esté asociado a arenas y arcillas saturadas.

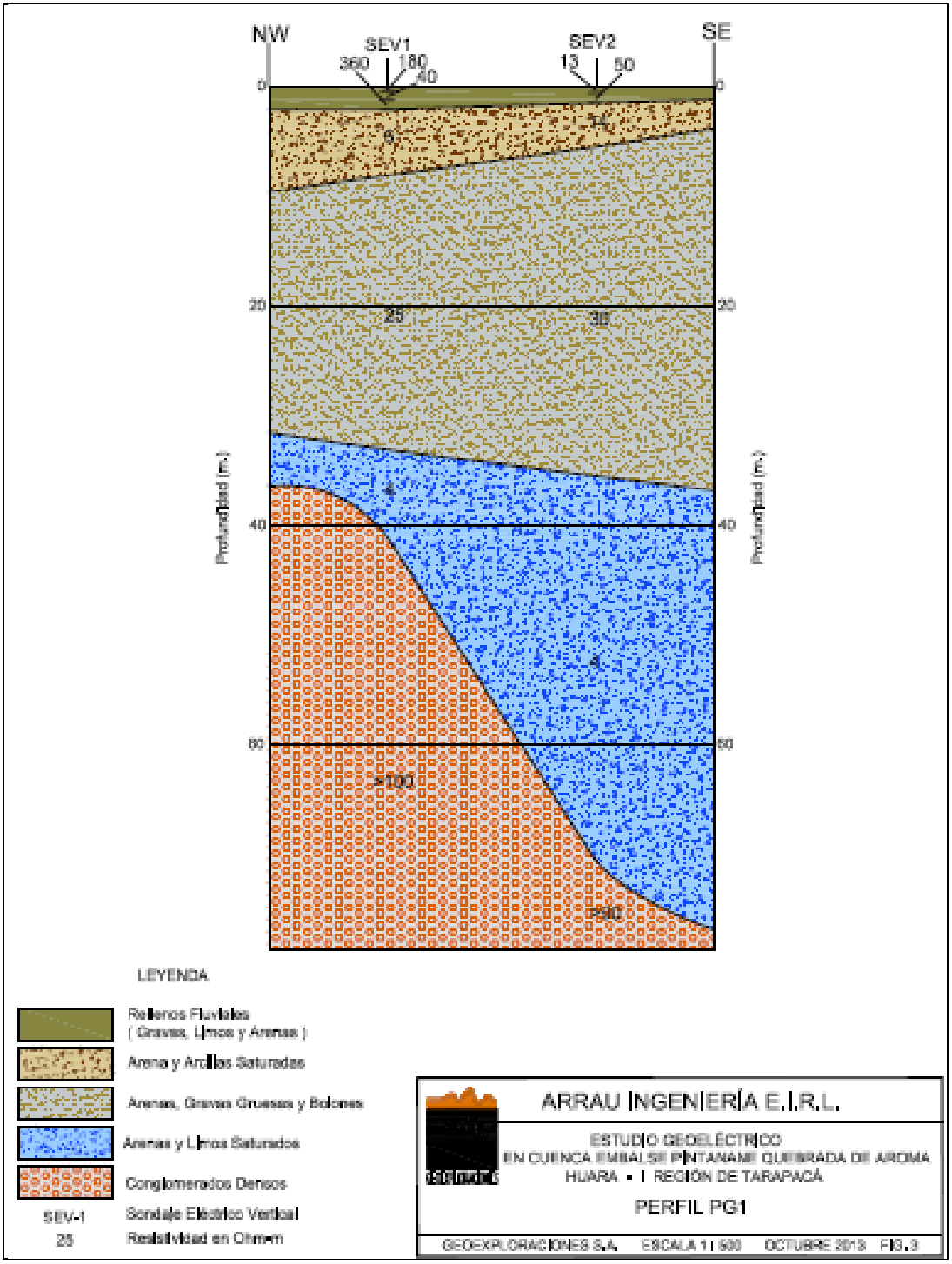
- Estrato con resistividad eléctrica de entre 48 y 55 Ω-m, con un espesor de entre 1,6 y 9 m, que se acuña hacia el NW (SEV10). Probablemente esté asociado a arenas, gravas gruesas y bolones.

- Estrato de gran potencia con una resistividad eléctrica entre 8 y 10 Ω-m ubicado a una profundidad de entre 3,5 y 14 m, con espesores de entre 30 y 50 m, y que se puede asociar a arenas y limos saturados con aguas con contenidos de sales y minerales.

- Estrato con resistividad eléctrica mayor que 30 Ω-m. Probablemente esté asociado a conglomerados densos.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

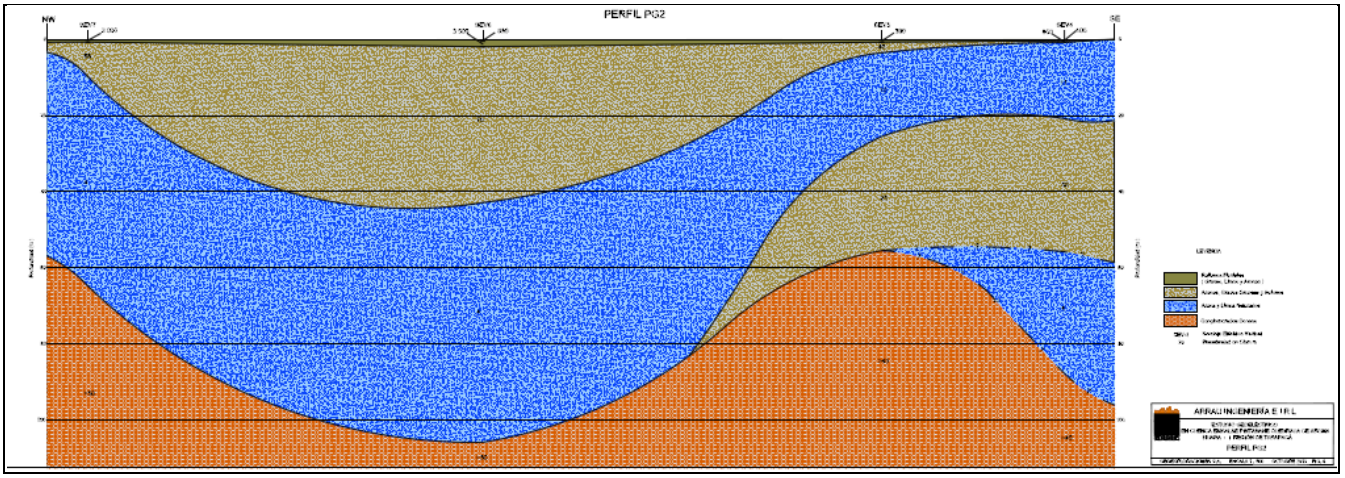
## FIGURAS 6.3.7.4-5
## PERFIL PG1




Fuente: Geoexploraciones S.A.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## FIGURAS 6.3.7.4-6
## PERFIL PG2




Fuente: Geoexploraciones S.A.

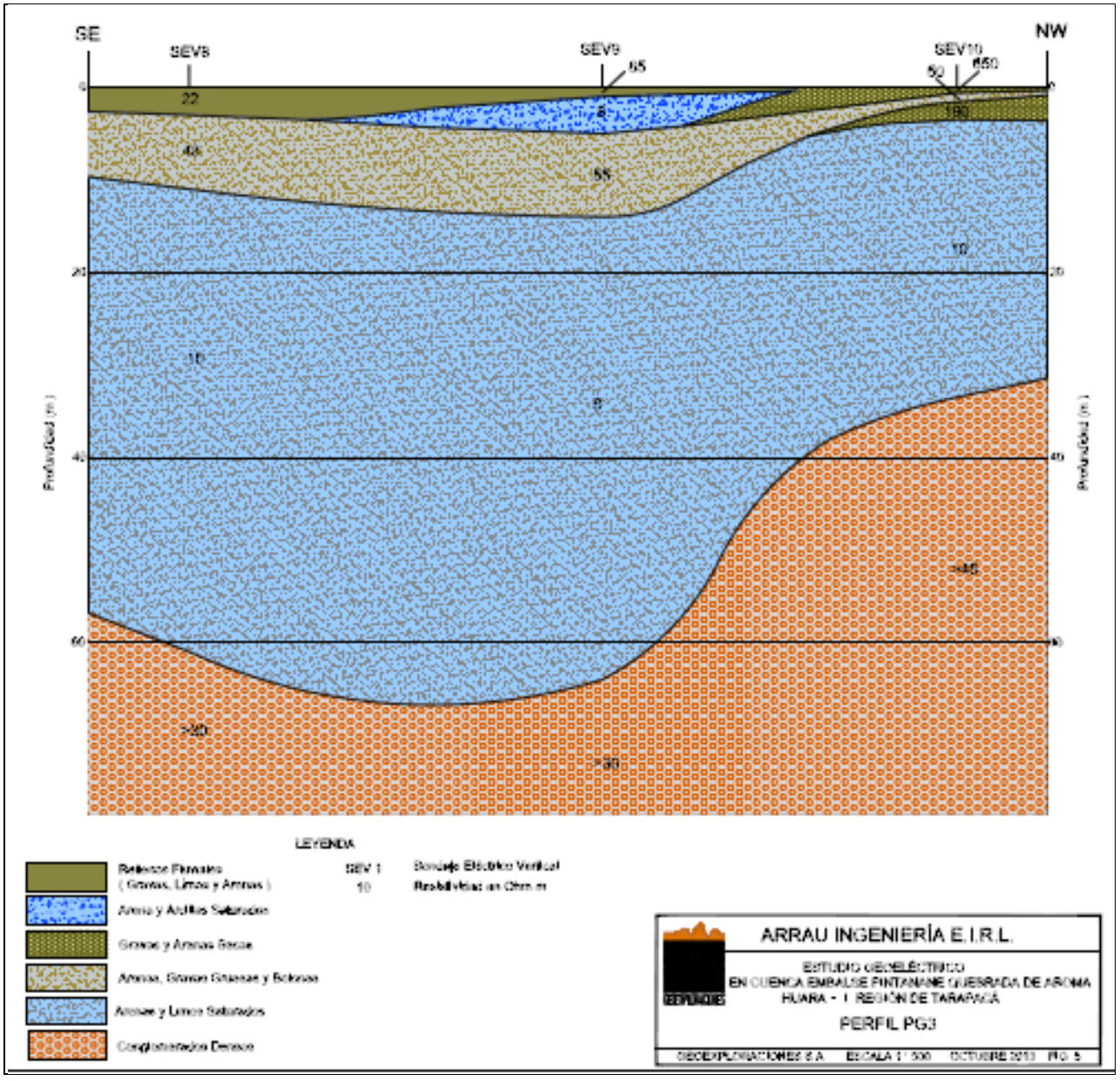
Los 9 SEV que componen los 3 perfiles geoeléctricos lograron detectar en profundidad valores de resistividad eléctrica que pudiesen asociarse al basamento rocoso. Las máximas profundidades de detección de la última capa llegaron a valores que van de los 30 a 105 m, obteniendo a dichas profundidades valores de resistividad eléctrica con un mínimo de entre 30 y 100 Ω-m que se pueden asociar a estratos de conglomerados densos. La máxima profundidad de este estrato fue detectada en el SEV 6, que se encuentra en la desembocadura de un cauce proveniente de la ribera norte de la cuenca.

En los tres perfiles se detecta un estrato de gran potencia y baja resistividad de entre 4 y 10 Ω-m, y espesor de entre 5 y 60 m, que se puede asociar a un estrato con presencia de arenas y limos saturados con aguas con contenidos de sales y minerales, el cual sobreyace al estrato citado en el párrafo anterior.

Es importante destacar que ninguno de estos estratos fue detectado en la campaña de sondajes realizado en las alternativas del muro del embalse, por lo que se recomienda realizar sondajes adicionales y/o profundizar los existentes para verificar su existencia.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

**FIGURAS 6.3.7.4-7**
**PERFIL PG3**




Fuente: Geoexploraciones S.A.

## 6.3.7.5. Resultados Caracterización Hidrogeológica

En general los resultados obtenidos mostrarían la existencia de un potencial sector acuífero, el que contendría aguas salobres. La potencia del acuífero varía entre 5 y 60 m, dado el material esperable, la permeabilidad del acuífero estaría comprendida entre $10^{-4}$ a $10^{-5}$ m/s. Considerando que el ancho medio del valle varía entre 20 y 400 m. Además la pendiente de la quebrada varía


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

entre 1% y 3 %. Por lo anterior, el flujo promedio que podría tenerse varía entre 1 y 20 L/s, presentándose zonas en las que la capacidad de porteo es baja, por lo que se producen afloramientos de importancia. En lo que respecta a los niveles freáticos, para un año 85 % el caudal medio anual es del orden de 200 L/s, con lo que el flujo que podría entrar al acuífero de la Pampa del Tamarugal alcanza hasta cerca de un 10% del caudal medio. En todo caso debe hacerse notar que el caudal que influye sobre el nivel freático no está asociado al límite superior del caudal de porteo, sino que al mínimo, ya que en los sectores con baja capacidad se producen afloramientos, como los identificados anteriormente en el Acápite 6.3.5.3. Por lo anterior, si bien es cierto se espera un efecto en los niveles este no debería ser muy pronunciado.

## *6.4. estudio de derechos de agua*

De conformidad con las necesidades de la presente consultoría, se efectuó un estudio completo sobre las cuencas de interés proporcionadas, con la finalidad de establecer tanto los derechos de aprovechamiento de aguas constituidos sobre dichos cauces y acuíferos, como asimismo las peticiones de otorgamiento de nuevos derechos y de regularizaciones sobre tales fuentes, además de validar los datos aportados sobre derechos de aprovechamiento que la presente consultoría poseería sobre las mencionadas cuencas.
En forma específica y concreta, se revisó la situación respecto de las siguientes fuentes o cauces y localidades:

- Río o Quebrada de Aroma
- Quebrada de Sotoca
- Quebrada de Sapte
- Quebrada de Chismiza

Como localidades o lugares de interés en la zona, se tuvo especial atención con Ariquilda, Pailca, Misticsa o Mixtisa, Cullco, Chilachila, Jaina, Chiapa y la zona del Parque Nacional Isluga.
Todos los cauces naturales y localidades antes indicados se ubican en la comuna de Huara, I Región de Tarapacá.
Sin perjuicio de lo anterior, fue revisada la situación de derechos de aprovechamiento de aguas tanto superficiales como subterráneas en las cercanías de los lugares antes indicados, cuya final pertinencia será determinada por la empresa mandante.
Para efectos metodológicos, el Consultor se constituyó en las Oficinas de la Dirección Regional de Aguas correspondiente a la Primera Región, de Tarapacá, en la ciudad de Iquique, con la finalidad de establecer e investigar las peticiones de nuevos derechos y solicitudes de regularización de derechos de aprovechamiento que se encuentran en trámite, y visitó el Conservador de Bienes Raíces involucrado, es decir, el de Pozo Almonte, para investigar lo atingente a derechos de aprovechamiento ya otorgados e inscritos, junto con revisar el Juzgado de Letras de la misma comuna ya señalada, en busca de solicitudes de regularización de derechos que estuvieren en trámite y fueren concernientes al estudio.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

El resultado de la labor de investigación es el que sigue, desglosado por derechos ya constituidos y peticiones en actual tramitación:
(Debe hacerse presente que el estudio puede haber abarcado otras fuentes o sectores, cuya implicancia en el estudio es desconocida para el informante, pero que podrían guardar relevancia, una vez que se determine, mediante posicionamiento UTM, su posible interacción con los cauces y sectores bajo estudio):

### 6.4.1. Derechos de Aprovechamiento Concedidos e Inscritos:

Todas las inscripciones que se cita a continuación, en el Cuadro 6.4.1.1-1, corresponden al Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Pozo Almonte:

## 6.4.1.1. Derechos de aprovechamiento sobre aguas superficiales:

En el Cuadro 6.4.1.1-1 se presentan los derechos de agua superficiales otorgados. Los derechos perfectos cuentan con las menciones esenciales de la legislación sobre aguas mientras que los derechos no perfectos deben someterse a juicio sumario de perfeccionamiento de títulos, para agregar menciones que faltan. Los derechos se encuentran en detalle en el Anexo 6-5.


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## CUADRO 6.4.1.1-1
## DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA OTORGADOS

| Nombre Titular | Caudal (l/s) | Norte (m) | Este (m) | Datum | Estado | Observaciones | Sector | Punto | Situación Legal | Menciones faltantes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Margarita Cayo Mamani | 20 | - | - | no indica | Otorgado | no indica | Chiapa | Vertiente en Cerro Tatajachura | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Sr. Benito Quispe Mamani y otros | 30 | 7.840.200 | 478750 | 1956 | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Álveo o vertiente Tatajachura | Perfecto (**) | - |
| Comunidad de Chiapa | 30 | 7.840.200 | 478750 | 1956 | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Chiapa | Álveo o vertiente Tatajachura | Perfecto (**) | - |
| Julián García Baltazar y otros | 30 | 7.840.200 | 478750 | 1956 | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Álveo o vertiente Tatajachura | Perfecto (**) | - |
| Marcelino Cáceres Choque | 1 | no indica | no indica | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo. Sobre aguas superficiales del Estero Tatajachura, punto de captación en Toma Caldoza, del conjunto de los manantiales de Jachura, a 3.000 metros al Oeste de la Iglesia del Pueblo de Chiapa y a 500 metros al Norte de la Quebrada Janjahua". | Chiapa | Álveo o vertiente Tatajachura | Perfecto (**) | - |
| Comunidad Indígena Hijos de Sotoca | 0,6 | 7.833.571 | 475881 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Chiapa | Vertiente El Pueblo | Perfecto (**) | - |
| Comunidad Indígena Hijos de Sotoca | 1 | 7.833.840 | 475799 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Chiapa | Vertiente Chito | Perfecto (**) | - |
| Comunidad Indígena Hijos de Sotoca | 0,5 | 7.833.838 | 475418 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Chiapa | Vertiente Machagalla | Perfecto (**) | - |
| Comunidad Indígena Hijos de Sotoca | 0,6 | 7.833.850 | 475360 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Chiapa | Vertiente Piquinica | Perfecto (**) | - |
| Comunidad Indígena Hijos de Sotoca | 1 | 7.833.751 | 475492 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Chiapa | Vertiente Unión | Perfecto (**) | - |
| Marcelina Cáceres Paucay | - | no indica | no indica | no indica | Otorgado | consuntivo, de álveo o vertiente. "Una mita, una chacta, un taipe y noche derecha" | Chiapa | Álveo o vertiente Tatajachura | No Perfecto (*) | Falta continuidad o discontinuidad, permanencia o eventualidad y caudal en L/s. |
| Gregoria García Cáceres | 2 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Mancagua | Perfecto (**) | - |
| Gregoria García Cáceres | 2 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | Perfecto (**) | - |
| Gregoria García Cáceres | 4 | 7.837.935 | 474907 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | Perfecto (**) | - |
| Gregoria García Cáceres | 2 | 7.837.997 | 474893 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | Perfecto (**) | - |
| Anastasia Bartolo Carlos | 2 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Mancagua | Perfecto (**) | - |
| Anastasia Bartolo Carlos | 2,5 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | Perfecto (**) | - |
| Anastasia Bartolo Carlos | 4 | 7.837.935 | 474907 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | Perfecto (**) | - |
| Anastasia Bartolo Carlos | 2 | 7.837.997 | 474893 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | Perfecto (**) | - |
| Demetrio Baltazar Coñajagua | 2 | 7.837.997 | 478893 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | Perfecto (**) | - |
| Demetrio Baltazar Coñajagua | 2 | 7.837.997 | 474893 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | Perfecto (**) | - |
| Máximo Carlos | 2,5 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | Perfecto (**) | - |
| Máximo Carlos | 2 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Mancagua | Perfecto (**) | - |
| Matilde Condore Vilca | 2,5 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | Perfecto (**) | - |
| Matilde Condore Vilca | 2 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Mancagua | Perfecto (**) | - |
| Hilda Baltazar Hidalgo | 1 | 7.837.935 | 474907 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | Perfecto (**) | - |
| Hilda Baltazar Hidalgo | 2 | 7.837.997 | 474893 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | Perfecto (**) | - |
| Comunidad Indígena Aymara de Jaiña | 2 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo y permanente, no precisa continuidad, discontinuidad o alternancia | Jaiña | Vertiente Mancagua | No Perfecto (*) | Falta continuidad o discontinuidad |
| Comunidad Indígena Aymara de Jaiña | 2,5 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo y permanente, no precisa continuidad, discontinuidad o alternancia | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | No Perfecto (*) | Falta continuidad o discontinuidad |
| Comunidad Indígena Aymara de Jaiña | 4 | 7.837.935 | 474907 | no indica | Otorgado | consuntivo y permanente, no precisa continuidad, discontinuidad o alternancia | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | No Perfecto (*) | Falta continuidad o discontinuidad |
| Comunidad Indígena Aymara de Jaiña | 2 | 7.837.997 | 474893 | no indica | Otorgado | consuntivo y permanente, no precisa continuidad, discontinuidad o alternancia | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | No Perfecto (*) | Falta continuidad o discontinuidad |
| Epifanio Baltazar Cáceres : | 4 | 7.837.935 | 474907 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | Perfecto (**) | - |
| Epifanio Baltazar Cáceres : | 2 | 7.837.997 | 474893 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | Perfecto (**) | - |
| Urbano Flores Mamani | 4 | 7.837.935 | 474907 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | Perfecto (**) | - |
| Urbano Flores Mamani | 2 | 7.837.997 | 474893 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | Perfecto (**) | - |
| Eulogia Vilca Sánchez | 2,5 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo y permanente, no precisa continuidad, discontinuidad o alternancia | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | | Falta continuidad o discontinuidad |
| Eulogia Vilca Sánchez | 2 | 7.837.917 | 474065 | no indica | Otorgado | consuntivo y permanente, no precisa continuidad, discontinuidad o alternancia | Jaiña | Vertiente Mancagua | | Falta continuidad o discontinuidad |


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## CUADRO 6.4.1.1-1
## DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA OTORGADOS

| Nombre Titular | Caudal (l/s) | Norte (m) | Este (m) | Datum | Estado | Observaciones | Sector | Punto | Situación Legal | Menciones faltantes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sebastián Castro Mamani | 2,5 | 7.837.917 | 474.065 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | Perfecto (**) | - |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 6.4.1.1-1
## DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA OTORGADOS

| Nombre Titular | Caudal (l/s) | Norte (m) | Este (m) | Datum | Estado | Observaciones | Sector | Punto | Situación Legal | Menciones faltantes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sebastián Castro Mamani | 2 | 7.837.917 | 474.065 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Mancagua | Perfecto (**) | - |
| Olga Bartolo Roque | 4 | 7.837.935 | 474.907 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | Perfecto (**) | - |
| Olga Bartolo Roque | 2 | 7.837.997 | 474.893 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | Perfecto (**) | - |
| Carla Bartolo Bartolo | 2,5 | 7.837.917 | 474.065 | no indica | Otorgado | consuntivo y permanente, no precisa continuidad, discontinuidad o alternancia | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | No Perfecto (*) | Falta continuidad o discontinuidad |
| Carla Bartolo Bartolo | 2 | 7.837.917 | 474.065 | no indica | Otorgado | consuntivo y permanente, no precisa continuidad, discontinuidad o alternancia | Jaiña | Vertiente Mancagua | No Perfecto (*) | Falta continuidad o discontinuidad |
| Sylvia Jachura Jachura | 4 | 7.837.935 | 474.907 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | Perfecto (**) | - |
| Sylvia Jachura Jachura | 2 | 7.837.997 | 474.893 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | Perfecto (**) | - |
| Elsa Hidalgo Jachura | 2,5 | 7.837.917 | 474.065 | no indica | Otorgado | consuntivo y permanente, no precisa continuidad, discontinuidad o alternancia | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | No Perfecto (*) | Falta continuidad o discontinuidad |
| Elsa Hidalgo Jachura | 2 | 7.837.917 | 474.065 | no indica | Otorgado | consuntivo y permanente, no precisa continuidad, discontinuidad o alternancia | Jaiña | Vertiente Mancagua | No Perfecto (*) | Falta continuidad o discontinuidad |
| Gertrudis Bartolo Cayo | 4 | 7.837.935 | 474.907 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | Perfecto (**) | - |
| Gertrudis Bartolo Cayo | 2 | 7.837.997 | 474.893 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | Perfecto (**) | - |
| Valentín Flores | 0,11 | 7.840.087 | 477.832 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Vertiente Jusjara | Perfecto (**) | - |
| Comunidad Indígena Aymara de Jaiña | 1 | 7.837.935 | 474.907 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | Perfecto (**) | - |
| Comunidad Indígena Aymara de Jaiña | 1 | 7.837.997 | 474.893 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | Perfecto (**) | - |
| Comunidad Indígena Aymara de Jaiña | 0,05 | 7.837.966 | 474.886 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Jaiña | Vertiente Aztaga Tres | Perfecto (**) | - |
| Paulino Colque Bartolo | 0,58 | 7.839.012 | 473.259 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Quisme Dos | Perfecto (**) | - |
| Paulino Colque Bartolo | 0,23 | no indica | no indica | no indica | Otorgado | Consuntivo, permanente y alternado. Referencia local: Aproximadamente a 1.570 metros al Noroeste del Pueblo de Jaiña (no contiene coordenadas ni Datum), por 0,23 l/s | - | - | Perfecto (**) | - |
| Isabel Colque, Julián García Baltazar, Martín Vilca Mollo y Juanito Bartolo Viza | 0,5 | 7.833.972 | 473.288 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Quisme Uno | Perfecto (**) | - |
| Anastasia Bartolo Carlos y Sebastiana Bartolo Ticona | 0,23 | 7.838.882 | 472.994 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Alsure Uno | Perfecto (**) | - |
| Antonia Bartolo Ticona | 0,23 | 7.838.882 | 472.994 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Alsure Uno | Perfecto (**) | - |
| Catalina Bartolo Mamani | 0,1 | 7.838.880 | 473.105 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Isla Dos | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Eulogia Vilca Sánchez y Sebastiana Bartolo Ticona | 0,56 | 7.838.435 | 473.060 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Chaguaría Dos | Perfecto (**) | - |
| Olga Bartolo Roque | 0,1 | 7.840.000 | 478.601 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y continuo | Jaiña | Vertiente Pila | Perfecto (**) | - |
| Luciano García | 0,23 | 7.838.591 | 473.104 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Guallanana | Perfecto (**) | - |
| Hilarión Hidalgo Supanta | 0,55 | 7.839.959 | 478.240 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Janjagua | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Catalina Bartolo Mamani y Juanito René Bartolo Viza | 0,23 | 7.838.882 | 472.950 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Alsure Dos | Perfecto (**) | - |
| Comunidad Indígena Aymara de Jaiña | 4 | 7.841.270 | 471.691 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Vertiente Chismiza | Perfecto (**) | - |
| Julián García Baltazar y Francisco Supanta Vilca | 0,56 | 7.838.431 | 473.087 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Chaguaría Uno | Perfecto (**) | - |
| Marcelino García Baltazar | 2 | 7.837.917 | 474.065 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Mancagua | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Marcelino García Baltazar | 1,5 | 7.838.011 | 474.075 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Marcelino García Baltazar | 2 | 7.837.935 | 474.907 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Marcelino García Baltazar | 2 | 7.837.997 | 474.893 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Francisco Supanta Castro | 2 | 7.837.935 | 474.907 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |

## CUADRO 6.4.1.1-1
## DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA OTORGADOS

| Nombre Titular | Caudal (l/s) | Norte (m) | Este (m) | Datum | Estado | Observaciones | Sector | Punto | Situación Legal | Menciones faltantes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Francisco Supanta Castro | 1,5 | 7.837.997 | 474.893 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |


*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

## CUADRO 6.4.1.1-1
## DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA OTORGADOS

| Nombre Titular | Caudal (l/s) | Norte (m) | Este (m) | Datum | Estado | Observaciones | Sector | Punto | Situación Legal | Menciones faltantes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Francisca Roque Cayo | 6 | 7.836.937 | 456.900 | no indica | Otorgado | no indica | Quebrada de Aroma | Bocatoma Halañusco: | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Isabel Colque | 2 | 7.838.011 | 474.075 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Isabel Colque | 2 | 7.837.917 | 474.065 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Mancagua | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| María Candelaria Roque Cayo | 6 | 7.836.937 | 456.900 | no indica | Otorgado | no indica | Quebrada de Aroma | Bocatoma Halañusco: | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Doris Vilca Sánchez | 2 | 7.838.011 | 474.075 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Doris Vilca Sánchez | 2 | 7.837.917 | 474.065 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Mancagua | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Luis Roque Cayo | 6 | 7.836.937 | 456.900 | no indica | Otorgado | no indica | Quebrada de Aroma | Bocatoma Halañusco: | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Luciano García Roque | 2 | 7.837.917 | 474.065 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Mancagua | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Luciano García Roque | 1,5 | 7.838.011 | 474.075 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Luciano García Roque | 2 | 7.837.935 | 474.907 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Luciano García Roque | 2 | 7.837.997 | 474.893 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Juanito René Bartolo Viza | 89 | 7.834.718 | 461.822 | no indica | Otorgado | no indica | Quebrada de Aroma | Bocatoma Misticsa o Mixtiza: | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Juanito René Bartolo Viza | 30 | 7.840.200 | 478.750 | no indica | Otorgado | no indica | Chiapa | Álveo o vertiente Tatajachura | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Vicente Baltazar Bartolo | 1 | 7.838.367 | 477.054 | no indica | Otorgado | no indica | Quebrada de Aroma | Vertiente Pugio Cucho | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Lucía Baltazar García | 2 | 7.837.917 | 474.065 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Mancagua | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Lucía Baltazar García | 2 | 7.838.011 | 474.075 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Lucía Baltazar García | 2 | 7.837.935 | 474.907 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Lucía Baltazar García | 2,5 | 7.837.997 | 474.893 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Gregoria Baltazar Coñajagua | 2 | 7.837.935 | 474.907 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Gregoria Baltazar Coñajagua | 2 | 7.837.997 | 474.893 | no indica | Otorgado | no indica | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Diogena Norma Lara Sandoval | 193 | 7.836.925 | 466.016 | no indica | Otorgado | no indica | Quebrada de Aroma | Vertiente Pampa Illalla: | No Perfecto (*) | Faltan características de continuo o discontinuo, consuntivo o no consuntivo y permanente o eventual |
| Valentín Flores | 0,2 | 7.839.198 | 484.139 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente | Quebrada de Aroma | Vertiente Pairumane | Perfecto (**) | - |
| Valentín Flores | 0,5 | 7.841.904 | 481.891 | no indica | Otorgado | consuntivo, permanente | Quebrada de Aroma | Vertiente Churuncane | Perfecto (**) | - |
| Asociación Indígena Aymara Valle Verde | 32,3 | 7.805.215 | 427.155 | no indica | Otorgado | Consuntivo, permanente y alternado | Quebrada de Aroma | Bocatoma Quiruza | Perfecto (**) | - |
| Asociación Indígena Aymara Valle Verde | 9,5 | 7.807.766 | 428.194 | no indica | Otorgado | Consuntivo, permanente y alternado | Quebrada de Aroma | Bocatoma Milagro | Perfecto (**) | - |

Fuente: Elaboración Propia a partir de antecedentes Conservador de Bienes Raíces.

*Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl*

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 6.4.1.2. Análisis razonado de los derechos de aprovechamiento inscritos en Conservador de Bienes Raíces, según sectores, indicando puntos de captación, caudales y características esenciales de los mismos

En el Cuadro 6.4.1.2-1 se incluye un resumen de los derechos de aprovechamiento inscritos en el Conservador de Bienes Raíces según sector.

**CUADRO 6.4.1.2-1**

**DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA OTORGADOS POR PUNTO DE CAPTACIÓN**

| Sector | Punto de Captación | Ubicación | Caudal y Características esenciales |
|---|---|---|---|
| Río o Quebrada de Aroma | Bocatoma Halañusco: | N: 7.836.937 y E: 456.900 (sin Datum | 6 l/s, sin características esenciales del derecho |
| | Bocatoma Misticsa o Mixtiza: | N: 7.834.718 y E: 461.822 (sin Datum) | 89 l/s, sin características esenciales del derecho |
| | Vertiente Pampa Illalla: | N: 7.836.925 y E: 466.016 (sin Datum) | 193 l/s, sin características esenciales del derecho. Suponiéndolos consuntivos, permanentes y alternados Total: 288 l/s |
| | Bocatoma Quiruza: | N: 7.805.215 y E: 427.155 (sin Datum) | *32,3 l/s consuntivos, permanentes y continuos* |
| | Bocatoma Milagro: | N: 7.807.766 y E: 428.194 (sin Datum) | 9,5 l/s, consuntivos, permanentes y continuos Consuntivos, permanentes y continuos Total: 41,8 l/s |
| Sector de Chiapa: | Vertiente El Pueblo | N: 7.833.571 y E: 475.881 (sin Datum) | 0,6 l/s |
| | Vertiente Chito | N: 7.833.840 y E: 475.799 (sin Datum) | 1,0 l/s |
| | Vertiente Machagalla | N: 7.833.838 y E: 475.418 (sin Datum) | 0,5 l/s |
| | Vertiente Piquinica | N: 7.833.850 y E: 475.360 (sin Datum) | 0,6 l/s |
| | Vertiente Unión | N: 7.833.751 y E: 475.492 (sin Datum) | 1,0 l/s |
| | Vertiente Pila | N: 7.840.000 y E: 478.601 (sin Datum) | 0,1 l/s Todos derechos consuntivos, permanentes y continuos Total: 3,8 l/s |
| | Vertiente Pairumane | N: 7.839.198 y E: 484.139 (sin Datum) | 0,2 l/s |
| | Vertiente Churuncane | N: 7.841.904 y E: 481.891 (sin Datum) | 0,5 l/s |
| | Vertiente Jusjara | N: 7.840.087 y E: 477.832 (sin Datum) | 0,11 l/s Estos derechos consuntivos, permanentes y alternados Total: 1,12 l/s |
| | Vertiente Pugio Cucho | N: 7.838.367 y E: 477.054 (sin Datum) | 1,0 l/s |
| | Vertiente Janjagua | N: 7.839.959 y E: 478.240 (sin Datum) | 0,55 l/s Ambas no expresan características esenciales del derecho |
| | Álveo o vertiente Tatajachura | N: 7.840.200 y E: 478.750 Datum 1956 | Existen dos derechos constituidos en el mismo punto: Diversos titulares individuales, por 30 l/s, consuntivo, permanente y alternado |
| Sector de Jaiña | Vertiente Mancagua | N: 7.837.917 y E: 474.065 (sin Datum) | 2,0 l/s |
| | Vertiente Zanja Carpa | N: 7.837.917 y E: 474.065 (sin Datum) | 2,5 l/s |


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 6.4.1.2-1**
**DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA OTORGADOS POR PUNTO DE CAPTACIÓN**

| Sector | Punto de Captación | Ubicación | Caudal y Características esenciales |
|---|---|---|---|
| | Vertiente Aztaga Uno | N: 7.837.935 y E: 474.907 (sin Datum) | 4,0 l/s |
| | Vertiente Aztaga Dos | N: 7.837.997 y E: 474.893 (sin Datum) | 2,5 l/s |
| | Vertiente Quisme Uno | N: 7.833.972 y E: 473.288 (sin Datum) | 0,5 l/s |
| | Vertiente Quisme Dos | N: 7.839.012 y E: 473.259 (sin Datum) | 0,58 l/s |
| | Vertiente Isla Uno | ("aproximadamente 1.570 m. al N.O. de Jaiña") | 0,23 l/s |
| | Vertiente Alsure Uno | N: 7.838.882 y E: 472.994 (sin Datum) | 0,46 l/s |
| | Vertiente Alsure Dos | N: 7.838.882 y E: 472.950 (sin Datum) | 0,23 l/s |
| | Vertiente Chaguaría Uno | N: 7.838.431 y E: 473.087 (sin Datum) | 0,56 l/s |
| | Vertiente Chaguaría Dos | N: 7.838.435 y E: 473.060 (sin Datum) | 0,56 l/s |
| | Vertiente Guallarane | N: 7.838.591 y E: 473.104 (sin Datum) | 0,23 l/s Todos son consuntivos, permanentes y alternados Total: 14,35 l/ |
| | Vertiente Isla Dos | N: 7.838.880 y E: 473.105 (sin Datum) | 0,10 l/s Éste no señala sus características esenciales |
| | Vertiente Aztaga Tres | N: 7.837.966 y E: 474.886 (sin Datum) | 0,05 l/s Éste último es derecho consuntivo, permanente y continuo. |

Fuente: Elaboración Propia a partir de antecedentes Conservador de Bienes Raíces.

En todos aquellos casos en que no se encuentra señalado el Datum a que se refieren las coordenadas del punto de captación, es dable asumir que aluden al Datum Provisorio Sudamericano de 1956, que es aquél con que ha trabajado la Dirección General de Aguas, como queda en claro al examinar los informes emitidos por ella en las causas sobre regularización de derechos de aprovechamiento de aguas tramitadas ante el Juzgado de Pozo Almonte, como asimismo se desprende del análisis de las inscripciones de las sentencias dictadas en esos juicios y que han sido practicadas en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces.

En todos los casos en que no se indica claramente las características del ejercicio de cada derecho de aprovechamiento, especialmente su continuidad o alternancia, resulta lógico concluir que se trata de derechos de ejercicio alternado entre varios usuarios, especialmente al atender a los caudales involucrados.

## 6.4.1.3. Derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas:

El estudio realizado en el Juzgado y Conservador de Bienes Raíces de Pozo Almonte, como el levantamiento efectuado en las Oficinas de la Dirección Regional de Aguas, arrojó dos

derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas que pueden ser de interés para el área del proyecto.
Ambos derechos son de escaso caudal, en comparación con los superficiales investigados, y sus datos esenciales se trascribe a continuación:
1)

| | |
|---|---|
| Titular | Asociación Indígena Aymara Valle Verde |
| Carácter derecho | No señala. |
| Puntos de captación y caudal: | - No indica ubicación, y su caudal es de 0,8 l/s, sin mayores datos esenciales del derecho. |
| Inscripción | Inscripción: Fojas 24 Nº 11, año 2004 |

2)

| | |
|---|---|
| Titular | Hilario Gregorio Mamani Mamani |
| Carácter derecho | Consuntivo y subterráneo |
| Puntos de captación y caudal: | - Noria en coordenadas N: 7.731.458 y E: 463.079 Datum WGS84, por 0,1 l/s máximo 12 horas al día y volumen total anual de 1.576,8 metros cúbicos. |
| Adquisición | Resolución DGA Nº 515 de 13 de Julio de 2011 |
| Inscripción | Fojas 345 Nº 191, año 2011 |

Por otra parte, se dispone de información en el sector de la Pampa del tamarugal la cual se incluye en el Anexo 6-6. Dicha información recopilada en la Adenda 1 del estudio Pampa Hermosa (DICTUC, 2006) corresponde a derechos subterráneos otorgados hasta Diciembre del 2008.

### 6.4.2. Peticiones de Regularizaciones de Derechos de Aprovechamiento en Actual Tramitación:

En lo que tiene relación con este punto, es posible manifestar que, revisado el Tribunal competente, de la comuna de Pozo Almonte, fueron identificadas las causas sobre regularizaciones de derechos de aprovechamiento vinculados a los sectores de interés o con posible relación con ellos indicados en el Cuadro 6.4.2-1. El detalle se incluye en el Anexo 6-5.

**CUADRO 6.4.2-1**
**DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA EN TRÁMITE**

| Nombre | Caudal (l/s) | Norte (m) | Este (m) | Datum | obs | Sector | Punto |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Peticionario: Comunidad Indígena de Aroma | 0,5 | 7.837.288 | 470.663 | 1956 | consuntivo, permanente y continuo | Chiapa | Vertiente San Antonio |
| Peticionaria: Albertina Paucay Vilca | 2 | 7.837.917 | 474.065 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Mancagua |
| Peticionaria: Albertina Paucay Vilca | 2,5 | 7.838.011 | 474.075 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Zanja Carpa |

## CUADRO 6.4.2-1
## DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA EN TRÁMITE

| Nombre | Caudal (l/s) | Norte (m) | Este (m) | Datum | obs | Sector | Punto |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Peticionario: Pascual Supanta Hidalgo | 1 | 7.838.367 | 477.054 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Quebrada de Aroma | Vertiente Pugio Cucho |
| Peticionaria: Comunidad Indígena San Santiago de Illalla | 1,5 | 7.838.853 | 474.197 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Vertiente Pugio Cucho |
| Peticionaria: Comunidad Indígena San Santiago de Illalla | 16 | 7.841.270 | 471.691 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Vertiente Chismiza |
| Peticionaria: Justa Cayo Flores | 1 | 7.841.904 | 481.891 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Quebrada de Aroma | Vertiente Churuncane |
| Peticionario: Anastasio Coñajagua Paucay | 1,5 | 7.842.021 | 482.611 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Vertiente en Chiapa |
| Peticionario: Francisco Cayo Ticuna | 1 | 7.838.367 | 477.054 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Quebrada de Aroma | Vertiente Pugio Cucho |
| Peticionario: José Supanta Baltazar | 1 | 7.838.367 | 477.054 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Quebrada de Aroma | Vertiente Pugio Cucho |
| Peticionario: Francisco Supanta Vilca | 0,1 | 7.838.853 | 476.197 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Vertiente Pugio Cucho |
| Peticionario: Francisco Supanta Vilca | 0,3 | 7.838.312 | 477.105 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Vertiente Guacachina |
| Peticionario: Francisco Supanta Vilca | 4 | 7.837.935 | 474.907 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Uno |
| Peticionario: Francisco Supanta Vilca | 2 | 7.837.997 | 474.893 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Jaiña | Vertiente Aztaga Dos |
| Peticionario: Martín Cayo Cayo | 1 | 7.841.904 | 481.891 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Quebrada de Aroma | Vertiente Churuncane |

**CUADRO 6.4.2-1**
**DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA EN TRÁMITE**

| Nombre | Caudal (l/s) | Norte (m) | Este (m) | Datum | obs | Sector | Punto |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Peticionario: Martín Cayo Cayo | 4 | 7.840.425 | 481.595 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Vertiente Acontaña |
| Peticionario: Martín Cayo Cayo | 0,4 | 7.839.878 | 478.317 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Vertiente Taquipilca |
| Peticionario: Adán Choque García | 87 | 7.836.937 | 465.900 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Quebrada de Aroma | Bocatoma Halañusco |
| Peticionario: Hilda Baltazar Hidalgo | 90 | 7.837.200 | 467.108 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Quebrada de Aroma | Bocatoma Cullco |
| Peticionario: Wilma Cayo Flores | 0.5 | 7.840.073 | 481.700 | 1956 | consuntivo, permanente y continuo | Chiapa | Bocatoma Pisaguire |
| Peticionario: Valentín Flores | 30 | 7.840.200 | 478.750 | 1956 | consuntivo, permanente y alternado | Chiapa | Álveo o vertiente Tatajachura |

Fuente: Elaboración Propia a partir de antecedentes Conservador de Bienes Raíces.

### 6.4.2.1. Análisis razonado de los derechos de aprovechamiento en actual tramitación ante el Juzgado de Letras, según sectores, indicando puntos de captación, caudales solicitados, características esenciales de los mismos y su situación actual

Del examen de los juicios tramitados fue posible advertir que seis de ellos se encontraban concluidos, con sentencia favorable que reconoce los derechos de aprovechamiento, pero no consta su pertinente inscripción en el Conservador de Bienes Raíces y están con su tramitación abandonada en el tribunal.

El resto corresponde a 14 casos, los que se encuentran todos con informe favorable de la Dirección General de Aguas, la gran mayoría con oposiciones de tres entidades que operan en el sector (Aguas del Altiplano S.A., SOQUIMICH y CONAF), debida y fundadamente contestadas por los peticionarios o interesados, pero se encuentran abandonados por éstos. Se trata de casos de regularizaciones de derechos seguidas en el marco de un programa de apoyo gubernamental cuya unidad ejecutora es la Universidad Católica del Norte.

Los juicios se encuentran responsablemente tramitados por los profesionales de esa Universidad y los informes favorables emitidos por la Dirección General de Aguas conducen


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

a pensar que, de activarse la tramitación de los mismos, debería obtenerse sentencias favorables en todos ellos.
El resumen de los casos ya comentados, concluidos o en actual tramitación, pero abandonados, es el siguiente:

### 6.4.2.2. Casos concluidos con sentencia favorable, no inscrita en Conservador:

En el Cuadro 6.4.2.2-1 se resumen las peticiones con sentencia favorable que no han sido inscritas en el Conservador de Bienes Raíces.

**CUADRO 6.4.2.2-1**
**DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA EN TRÁMITE**

| Sector | Punto | Ubicación | Caudal |
|---|---|---|---|
| Quebrada de Aroma | Bocatoma Halañusco | N: 7.836.937 y E: 465.900 Datum 1956 | 87 l/s turnal |
| | Bocatoma Cullco | N: 7.837.200 y E: 467.108 Datum 1956 | 90 l/s consuntivo, permanente y alternado |
| Chiapa | Vertiente Pugio Cucho | N: 7.838.853 y E: 474.197 Datum 1956 | 1,5 l/s consuntivo, permanente y continuo y 1,0 l/s consuntivo, permanente y alternado |
| | Vertiente Churuncane | N: 7.841.904 y E: 481.891 sin Datum | 1 l/s consuntivo, permanente y alternado |
| | Vertiente Chismiza | N: 7.841.270 y E: 471.691 Datum 1956 | 16 l/s no consuntivo, permanente y alternado |

Fuente: Elaboración Propia a partir de antecedentes Conservador de Bienes Raíces.

Estos derechos, aunque no se encuentren inscritos en el Conservador de Bienes Raíces, deben ser considerados para los efectos del estudio.

### 6.4.2.3. Casos en tramitación, con informe favorable y abandonados:

En el Cuadro 6.4.2.3-1 se resumen las peticiones con sentencia favorable que han sido abandonadas.

**CUADRO 6.4.2.3-1**
**DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA EN TRÁMITE**

| Punto | Ubicación | Caudal | Observaciones |
|---|---|---|---|
| Vertiente Pugio Cucho | N: 7.838.853 y E: 474.197 Datum 1956 | 2,1 l/s | consuntivos, permanentes y alternados |
| Vertiente Mancagua | N: 7.837.917 y E: 474.065 sin Datum | 2,0 l/s | |
| Vertiente Zanja Carpa | N: 7.837.917 y E: 474.065 sin Datum | 2,5 l/s | |

**CUADRO 6.4.2.3-1**
**DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA EN TRÁMITE**

| Punto | Ubicación | Caudal | Observaciones |
|---|---|---|---|
| Vertiente en Chiapa | N: 7.842.021 y E: 482.611 Datum 1956 | 1,5 l/s | |
| Vertiente Tatajachura | N: 7.840.200 y E: 478.750 sin Datum | 30 l/s | |
| Vertiente Guacachina | N: 7.838.312 y E: 477.105 Datum 1956 | 0,3 l/s | |
| Vertiente Aztaga Uno | N: 7.837.935 y E: 474.907 Datum 1956 | 4,0 l/s | |
| Vertiente Acontaña | N: 7.840.425 y E: 481.595 Datum 1956 | 4,0 l/s | |
| Vertiente Taquipilca | N: 7.839.878 y E: 478.317 Datum 1956 | 0,4 l/s | |
| Vertiente San Antonio | N: 7.837.288 y E: 470.663 Datum 1956 | 0,5 l/s | consuntivos, permanentes y continuos |
| Vertiente Pisaguire | N: 7.840.073 y E: 481.700 Datum 1956 | 0,5 l/s | |

Fuente: Elaboración Propia a partir de antecedentes Conservador de Bienes Raíces

Estos derechos en trámite de regularización, si bien se encuentran con su proceso judicial abandonado, es recomendable considerarlos como potencial requerimiento sobre el acuífero, dado que cuentan todos con informes favorables de parte de la Dirección General de Aguas.

## 6.4.3. Conclusiones Generales

Revisados los antecedentes documentales con que se trabajó, básicamente constituidos por inscripciones de derechos de aprovechamiento en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Pozo Almonte, como asimismo hecha la revisión pertinente en Oficinas de la Dirección General de Aguas, tanto en Iquique como en Santiago, es posible formular las siguientes observaciones:

1) Básicamente, la propiedad sobre los derechos de aprovechamiento de aguas, en lo concerniente al proyecto, recae sobre derechos de tipo superficial, tanto en forma de extracciones comunitarias como individuales, siendo un mínimo – prácticamente carente de relevancia – los derechos de tipo subterráneos, que se ha consignado al final del punto 6.1.3 de este Informe.

2) Esta propiedad se encuentra fuertemente consolidada, en el sentido que se trata de derechos con sus pertinentes inscripciones asentadas en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Pozo Almonte.

3) En lo que tiene relación con peticiones en actual tramitación, debe tenerse claro que ellas se encuentran básicamente abandonadas desde hace largo tiempo ante el Juzgado de Letras de la misma ciudad, autoridad que no ha tenido ocasión de pronunciarse sobre las mismas, ya sea denegándolas o acogiéndolas, al dictar una sentencia que reconozca un derecho sometido a regularización ante esa instancia, de modo que, por el momento, no representan riesgo de oposición al proyecto, toda vez que se trata de peticionarios que aún no son titulares de derechos.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4) Lo de mayor trascendencia y que contribuye a avalar la factibilidad del proyecto, está constituido por el hecho que el Río Aroma no se encuentra con declaración de agotamiento por parte de la Dirección General de Aguas, lo que posibilita la solicitud de derechos de tipo superficial sobre dicho curso o sus afluentes, a lo que debe agregarse que tampoco la zona del proyecto cuenta con declaración de área de restricción para el otorgamiento de derechos subterráneos.
En otras palabras, es posible solicitar el otorgamiento de derechos superficiales para el proyecto, toda vez que el río no está legalmente agotado, y a su vez, la inexistencia de área de restricción contribuye a un esperable ambiente favorable para la concreción de dicho proyecto.

## *6.5. Infraestructura de riego*

### 6.5.1. Evaluación para diferentes situaciones de calidad de Agua

Se consideran dos situaciones de calidad de agua en el escenario con proyecto, tal como se indica en el Capítulo 8, los cuales son:

- **Calidad Actual:** considera el actual escenario de calidad de agua utilizando los mismos cultivos y variedades de Situación Actual y Sin Proyecto, dada su adaptabilidad a las condiciones tóxicas existentes de salinidad, boro y arsénico para el desarrollo de la mayor parte de los cultivos. Se incorpora además la coliflor como representante de las escasas alternativas hortícolas que toleran estos niveles de salinidad a un máximo alcanzable de 50% de rendimiento potencial según FAO Irrigation and Drainage Papers, 1994, lo que merma significativamente el margen del cultivo. Este escenario es el que en rigor se debe considerar en Situación Con Proyecto.

- **Calidad Mejorada**: asume un escenario hipotético en que el agua entregada por el proyecto cumplirá con los estándares de calidad apropiados para riego y constituye una referencia de comparación en el marco hipotético que el agua fuese tratada. Se plantea así un escenario hipotético donde la calidad de agua, en su parámetro más restrictivo que es la conductividad eléctrica (Ce), no supere los 2,1 mmhos/cm, umbral de Ce planteado por FAO 29 Rev. 1 sobre el cual el potencial de rendimientos de las especies agrícolas en general baja del 75%. Se supone además un mejoramiento de la calidad del agua en sus niveles de boro existentes dado que como ya se mencionó, para el desarrollo de los cultivos es el factor más limitante. De esta manera se posibilita la incorporación de alternativas de cultivo en esta estructura y que los


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

rendimientos de los ya presentes experimenten un aumento según su condición de adaptabilidad.

### 6.5.2. Potenciales Zonas de Riego y Superficies Asociadas

La superficie de cultivo en el Escenario 1, considerando el máximo riego en condiciones de Calidad de agua actual, alcanza las 432 ha aproximadamente, de las cuales un 8% correspondería al sector 1, ubicado en la quebrada de Aroma; y un 92% al sector 2, lo que corresponde aproximadamente a 397,6 ha ubicada en la Pampa de Huara. En cuanto a las posibilidades de expansión agrícola en el escenario 2, la superficie bajo riego correspondería a 386,6 ha.

## 6.5.2.1. Propietarios Aparentes

Los potenciales beneficiarios del proyecto por sector son los que se indican a continuación.
**Sector 1:** Al interior del valle de Aroma, estos corresponden a aquellos que ocupan terrenos en la quebrada de Aroma, los que se agrupan en 9 predios, algunos de los cuales actualmente se encuentra sin actividad productiva. El detalle de cada uno de estos se presenta en el Cuadro 6.5.2.1-1.

**CUADRO 6.5.2.1-1**
**LISTADOS DE PROPIETARIOS APARENTES**
**SECTOR 1**

| N° | Quebrada | Estrato | Localidad | Propietario Aparente | Superficie Total (ha) | Superficie potencialmente productiva (ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Aroma | E2 | Pailca | Basilio Mamani García | 1,5 | 1,5 |
| 2 | Aroma | E3 | Pailca | Valentín Mamani | 6,0 | 2,5 |
| 3 | Aroma | E2 | Cala Cala | Silvia Amache | 4,0 | 4,0 |
| 4 | Aroma | E3 | Ariquilda | Osvaldo Fuentes | 7,0 | 7,0 |
| 5 | Aroma | E1 | Ariquilda | Jorge Evaristo Choque | 1,0 | 1,0 |
| 6 | Aroma | E4 | Ariquilda | Herlinda Choque García(*) | 12,0 | 9,0 |
| 7 | Aroma | E3 | Ariquilda | Eleno Choque García | 8,0 | 6,0 |
| 8 | Aroma | E2 | Ariquilda | Epifania Choque | 2,5 | 2,5 |
| 9 | Aroma | E1 | Ariquilda | Jorge Eustaquio Choque(*) | 1,0 | 1,0 |

(*) Bien nacional (en trámite de propiedad)

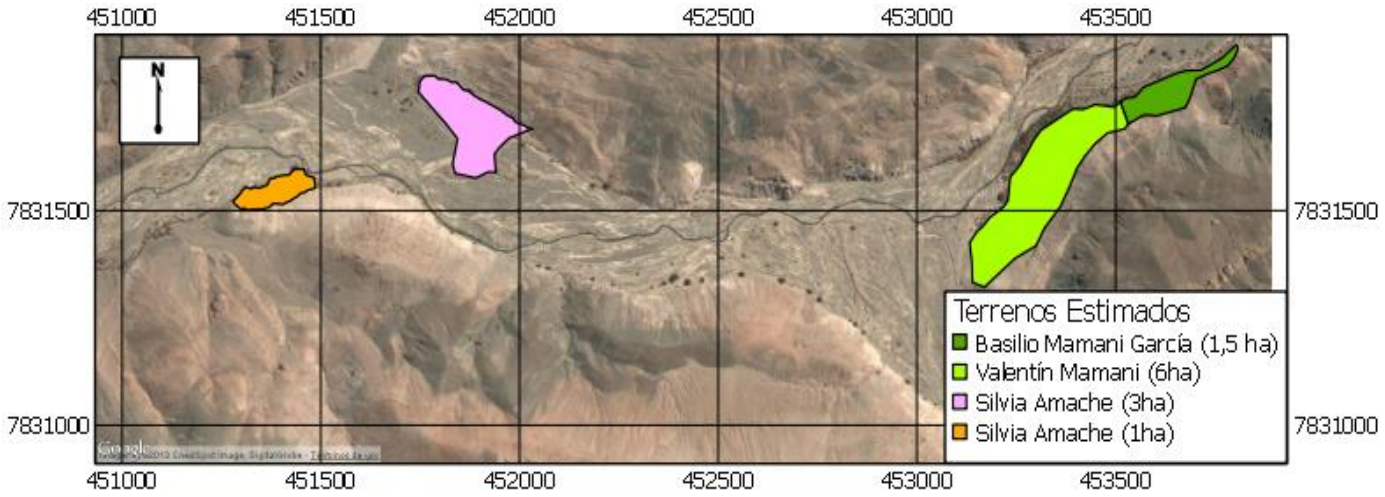
Fuente: Elaboración Propia

Los estratos son usados para referirse a grupos de predios con características similares, principalmente a lo que se refiere al tamaño predial. A continuación se presentan los estratos definidos para el presente estudio:

- Estrato de tamaño 1 (E1): Predios de tamaño menor o igual a 1 ha. Se caracterizan por ser predios de subsistencia.
- Estrato de tamaño 2 (E2): Predios de tamaño mayor a 1 ha y menor o igual a 5 ha. Corresponden a pequeños agricultores, los que mantienen una agricultura familiar campesina.
- Estrato de tamaño 3 (E3): Predios de tamaño mayor a 5 ha y menor o igual a 10 ha. Estos predios incluyen mayoritariamente a parcelas agrícolas.
- Estrato de tamaño 4 (E4): Predios de tamaño mayor a 10 ha. Son predios que se considerarán como "grandes" para la zona.

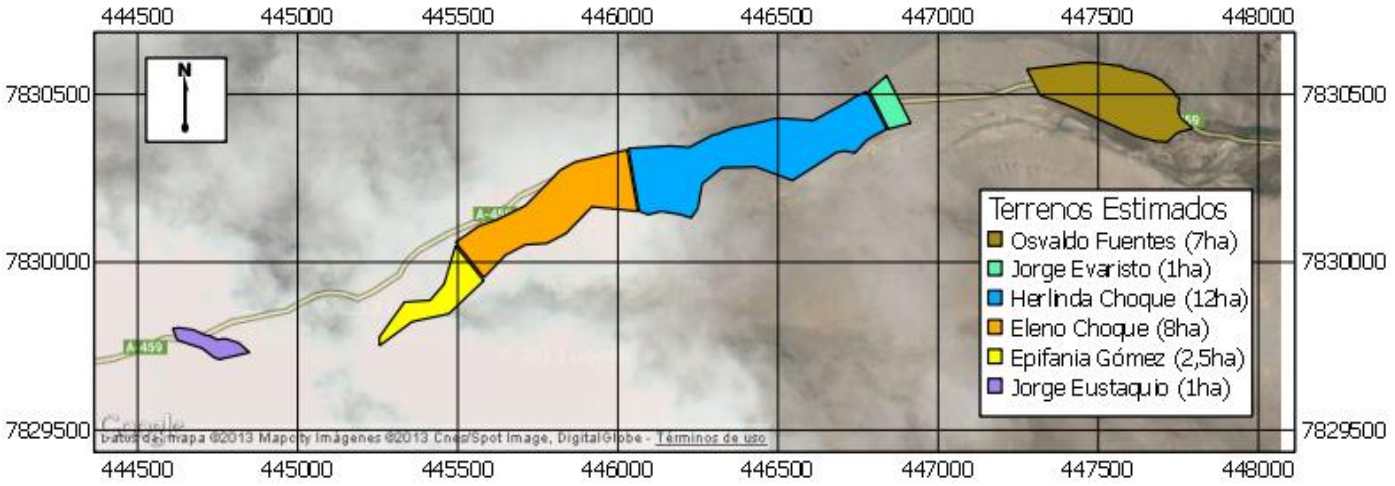
En la Figura 6.5.2.1-1 se muestra la ubicación aproximada de los sitios que pertenecen a los propietarios del sector 1, obtenida a partir de los relatos.

**FIGURA 6.5.2.1-1**
**UBICACIÓN ESTIMADA DE TERRENOS SECTOR 1**





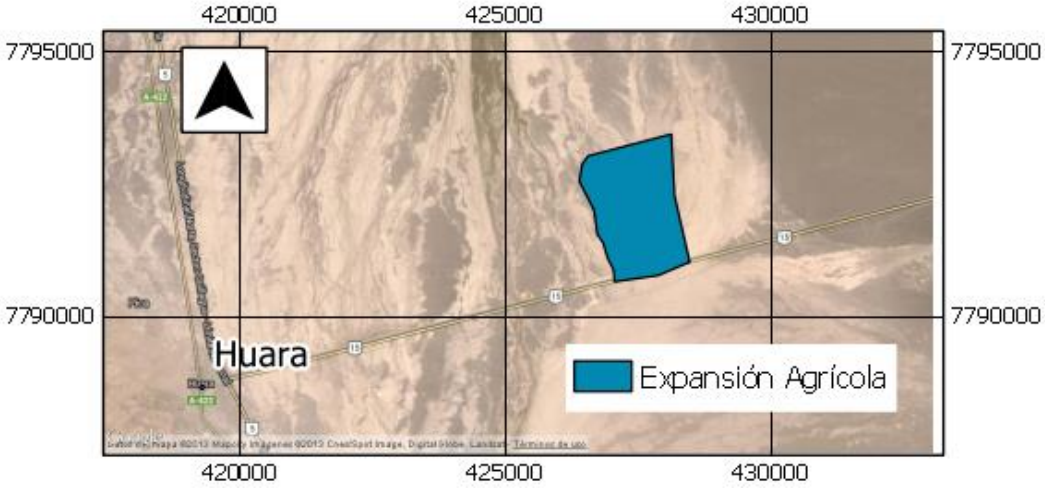
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Elaboración Propia a partir de Qgis

**Sector 2:** En este sector actualmente no se presentan terrenos privados, siendo el 100% del área estudiada de propiedad de bienes nacionales, lo cual corresponde a 400 ha. Dicha superficie, indicada en la Figura 6.5.2.1-2, se ha considerado como zona de expansión agrícola, la cual ha de ser asignada a potenciales beneficiarios del proyecto en un programa de asignación de terrenos y derechos de aprovechamiento de aguas, en una etapa posterior al presente estudio. El total de potenciales beneficiarios en este sector corresponderían a 23 personas para un escenario con calidad de agua actual y 133 potenciales usuarios para un escenario de calidad de agua mejorada.

**FIGURA 6.5.2.1-2**
**UBICACIÓN ZONA EXPANSIÓN AGRÍCOLA**




Fuente: Elaboración Propia a partir de Qgis


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## 6.5.2.2. Cultivos

La propuesta de cultivos en situación con Proyecto junto a las superficies asignadas por estrato predial para cada situación de calidad de agua se resume en los cuadros 6.5.2.2-1, 6.5.2.2-2, 6.5.2.2-3 y 6.5.2.2-4 para los sectores 1 y 2 respectivamente.

**CUADRO 6.5.2.2-1**
**USO DEL SUELO SITUACIÓN CON PROYECTO**
**PREDIOS EXPANDIDO SECTOR 1 – CALIDAD ACTUAL**

| Cultivo | E1 | | E2 | | E3 | | E4 | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha | % |
| Maíz Choclo | 0,90 | 45,00 | 3,25 | 50,00 | 10,20 | 60,00 | 6,30 | 70,00 | 20,65 | 59,86 |
| Coliflor | 0,20 | 10,00 | 0,65 | 10,00 | 0,85 | 5,00 | 0,45 | 5,00 | 2,15 | 6,23 |
| Alfalfa | 0,90 | 45,00 | 2,60 | 40,00 | 5,95 | 35,00 | 2,25 | 25,00 | 11,70 | 33,91 |
| Total Productiva | 2,00 | 100,00 | 6,50 | 100,00 | 17,00 | 100,00 | 9,00 | 100,00 | 34,50 | 100,00 |
| Riego con Agua Superficial | 2,00 | 100,00 | 6,50 | 100,00 | 17,00 | 80,95 | 9,00 | 75,00 | 34,50 | 83,13 |
| Indirectamente productiva | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sin uso potencialmente Regable | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Improductiva | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4,00 | 19,05 | 3,00 | 25,00 | 7,00 | 16,87 |
| Suma de Total (ha) | 2,00 | 100,00 | 6,50 | 100,00 | 21,00 | 100,00 | 12,00 | 100,00 | 41,50 | 100,00 |

Fuente: Elaboración propia a partir de encuesta simple y listado de usuarios.

**CUADRO 6.5.2.2-2**
**USO DEL SUELO SITUACIÓN CON PROYECTO**
**PREDIOS EXPANDIDO SECTOR 2 – CALIDAD ACTUAL**

| Cultivo | E1 | | E2 | | E3 | | E4 | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha | % |
| Maiz Choclo | | | | | | | 238,59 | 60,00 | 238,59 | 60,00 |
| Coliflor | | | | | | | 19,88 | 5,00 | 19,88 | 5,00 |
| Alfalfa | | | | | | | 139,18 | 35,00 | 139,18 | 35,00 |
| Total Productiva | | | | | | | 397,65 | 100,00 | 397,65 | 100,00 |
| Riego con Agua Superficial | | | | | | | 397,65 | 99,41 | 397,65 | 99,41 |
| Indirectamente productiva | | | | | | | 2,35 | 0,59 | 2,35 | 0,59 |
| Sin uso potencialmente Regable | | | | | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Improductiva | | | | | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Suma de Total (ha) | | | | | | | 400,00 | 100,00 | 400,00 | 100,00 |

Fuente: Elaboración propia a partir de encuesta simple y listado de usuarios

## CUADRO 6.5.2.2-3
## USO DEL SUELO SITUACIÓN CON PROYECTO
## PREDIOS EXPANDIDO SECTOR 1 – CALIDAD MEJORADA

| Cultivo | E1 | | E2 | | E3 | | E4 | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha | % |
| Maíz Choclo | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Lechuga - Maíz Choclo | 0,60 | 30,00 | 1,63 | 25,00 | 4,25 | 25,00 | 1,80 | 20,00 | 8,28 | 23,99 |
| Betarraga - Coliflor | 0,30 | 15,00 | 0,65 | 10,00 | 1,70 | 10,00 | 1,35 | 15,00 | 4,00 | 11,59 |
| Lechuga -Tomate | 0,00 | 0,00 | 0,98 | 15,00 | 3,40 | 20,00 | 1,80 | 20,00 | 6,18 | 17,90 |
| Cebolla - Melón | 0,20 | 10,00 | 0,98 | 15,00 | 2,55 | 15,00 | 1,35 | 15,00 | 5,08 | 14,71 |
| Lechuga - Acelga - Lechuga | 0,40 | 20,00 | 1,30 | 20,00 | 3,40 | 20,00 | 2,25 | 25,00 | 7,35 | 21,30 |
| Alfalfa | 0,50 | 25,00 | 0,98 | 15,00 | 1,70 | 10,00 | 0,45 | 5,00 | 3,63 | 10,51 |
| Total Productiva | 2,00 | 100,00 | 6,50 | 100,00 | 17,00 | 100,00 | 9,00 | 100,00 | 34,50 | 100,00 |
| Riego con Agua Superficial | 2,00 | 100,00 | 6,50 | 100,00 | 17,00 | 80,95 | 9,00 | 75,00 | 34,50 | 83,13 |
| Indirectamente productiva | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sin uso potencialmente Regable | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Improductiva | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4,00 | 19,05 | 3,00 | 25,00 | 7,00 | 16,87 |
| Suma Total (ha) | 2,00 | 100,00 | 6,50 | 100,00 | 21,00 | 100,00 | 12,00 | 100,00 | 41,50 | 100,00 |

Fuente: Elaboración propia a partir de encuesta simple y listado de usuarios

## CUADRO 6.5.2.2-4
## USO DEL SUELO SITUACIÓN CON PROYECTO
## PREDIOS EXPANDIDO SECTOR 2 – CALIDAD MEJORADA

| Cultivo | E1 | | E2 | | E3 | | E4 | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha | % |
| Maíz Choclo | | | 0,00 | 0,00 | | | | | 0,00 | 0,00 |
| Lechuga - Maíz Choclo | | | 77,33 | 20,00 | | | | | 77,33 | 20,00 |
| Betarraga - Coliflor | | | 58,00 | 15,00 | | | | | 58,00 | 15,00 |
| Lechuga -Tomate | | | 77,33 | 20,00 | | | | | 77,33 | 20,00 |
| Cebolla - Melón | | | 58,00 | 15,00 | | | | | 58,00 | 15,00 |
| Lechuga - Acelga - Lechuga | | | 96,67 | 25,00 | | | | | 96,67 | 25,00 |
| Alfalfa | | | 19,33 | 5,00 | | | | | 19,33 | 5,00 |
| Total Productiva | | | 386,67 | 100,00 | | | | | 386,67 | 100,00 |
| Riego con Agua Superficial | | | 386,67 | 96,67 | | | | | 386,67 | 96,67 |
| Indirectamente productiva | | | 13,33 | 3,33 | | | | | 13,33 | 3,33 |
| Sin uso potencialmente Regable | | | 0,00 | 0,00 | | | | | 0,00 | 0,00 |
| Improductiva | | | 0,00 | 0,00 | | | | | 0,00 | 0,00 |


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Suma Total (ha) | | | 400,00 | 100,00 | | | | | 400,00 | 100,00 |

Fuente: Elaboración propia a partir de encuesta simple y listado de usuarios.

### 6.5.2.3. Tecnificación del Riego

Las superficies de cultivo correspondientes a cada método de riego por Estrato predial se presentan en el Cuadro 6.5.2.3-1 y 6.5.2.3-2.

**CUADRO 6.5.2.3-1**
**SUPERFICIE POR MÉTODO DE RIEGO**
**EN SITUACIÓN CON PROYECTO – CALIDAD ACTUAL**

| Sector | Estrato | Superficie Incorporada por Método de Riego (ha) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pretiles | Surco | Cinta | Aspersión | Total |
| Sector 1 | E1 | 0,9 | 1,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | E2 | 2,6 | 3,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | E3 | 6,0 | 11,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | E4 | 2,3 | 6,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Total Bajo | 11,7 | 22,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Sector 2 | E1 | | | | | |
| | E2 | | | | | |
| | E3 | | | | | |
| | E4 | 139,2 | 258,5 | 0,0 | 0,0 | 397,6 |
| | Total Medio | 139,2 | 258,5 | 0,0 | 0,0 | 397,6 |
| Área de Estudio | | 150,9 | 281,3 | 0,0 | 0,0 | 397,6 |

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 6.5.2.3-2**
**SUPERFICIE POR MÉTODO DE RIEGO**
**EN SITUACIÓN CON PROYECTO – CALIDAD MEJORADA**

| Sector | Estrato | Superficie Incorporada por Método de Riego (ha) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tendido | Surco | Cinta | Aspersión | Total |
| Sector 1 | E1 | 0,0 | 0,3 | 1,5 | 0,2 | 2,0 |
| | E2 | 0,0 | 0,8 | 5,2 | 0,5 | 6,5 |
| | E3 | 0,0 | 2,1 | 14,0 | 0,9 | 17,0 |
| | E4 | 0,0 | 0,9 | 7,9 | 0,2 | 9,0 |
| | Total Sector 1 | 0,0 | 4,1 | 28,6 | 1,8 | 34,5 |
| Sector 2 | E1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | E2 | 0,0 | 0,0 | 367,3 | 19,3 | 386,7 |
| | E3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | E4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Total Sector 2 | 0,0 | 0,0 | 367,3 | 19,3 | 386,7 |
| Área de Estudio | | 0,0 | 4,1 | 395,9 | 21,1 | 421,2 |

Fuente: Elaboración propia.

## 6.5.2.4. Tasas de Riego

A partir de la distribución de cultivos, la calidad de suelo, la calidad del agua y las condiciones agroclimáticas se han estimado las tasas de riego necesarias para los escenarios analizados. En el Cuadro 6.5.2.4-1 se resumen las tasas máximas que son de interés para los diseños de las obras de conducción.

**CUADRO 6.5.2.4-1**

**RESUMEN TASAS DE RIEGO PARA DIFERENTES CALIDADES DE AGUA**

| Sector | Tasa máx. (L/s/ha) | | Superficie (ha) | |
|---|---|---|---|---|
| | Calidad Actual | Calidad Mejorada | Calidad Actual | Calidad Mejorada |
| 1 | 1,91 | 1,39 | 34,5 | 34,5 |
| 2 | 1,90 | 1,43 | 397,6 | 386,7 |

Fuente: Elaboración propia

## 6.5.3. Red de distribución para riego

Con el fin de satisfacer las demandas hídricas para el riego de la Quebrada de Aroma, se considera una red de canales y conducciones en los sectores 1 y 2. Para ello se propone el mejoramiento de trazados existentes de acequias y la construcción de nuevas obras de conducción.

## 6.5.3.1. Evaluación red Existente

Se realizó una evaluación a la red de riego existente en la Quebrada de Aroma, desde el sector de Pailca hasta llegar a la pampa del Tamarugal en donde el agua de la quebrada se pierde por efecto de la infiltración y la evaporación. En el Cuadro 6.5.3.1-1 se da una descripción de las obras halladas y en la Figura 6.5.3.1-1 su ubicación.

**CUADRO 6.5.3.1-1**

**DESCRIPCIÓN ACEQUIAS EXISTENTES**

| Nombre | Descripción | Bocatoma |
|---|---|---|
| Pailca 1 | Acequia sin uso. Se aprecia huella en mal estado y estancada | No existe bocatoma |
| Pailca 2 | Acequia sin uso.. Se aprecia huella en la estado. | No existe bocatoma |
| Cala Cala 1 | Acequia sin uso. El acequia está destruido por las crecidas que han azotado el sector de Cala Cala. | No existe bocatoma |
| Cala Cala 2 | Acequia sin uso y semi borrado. | No existe bocatoma |


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 6.5.3.1-1**
**DESCRIPCIÓN ACEQUIAS EXISTENTES**

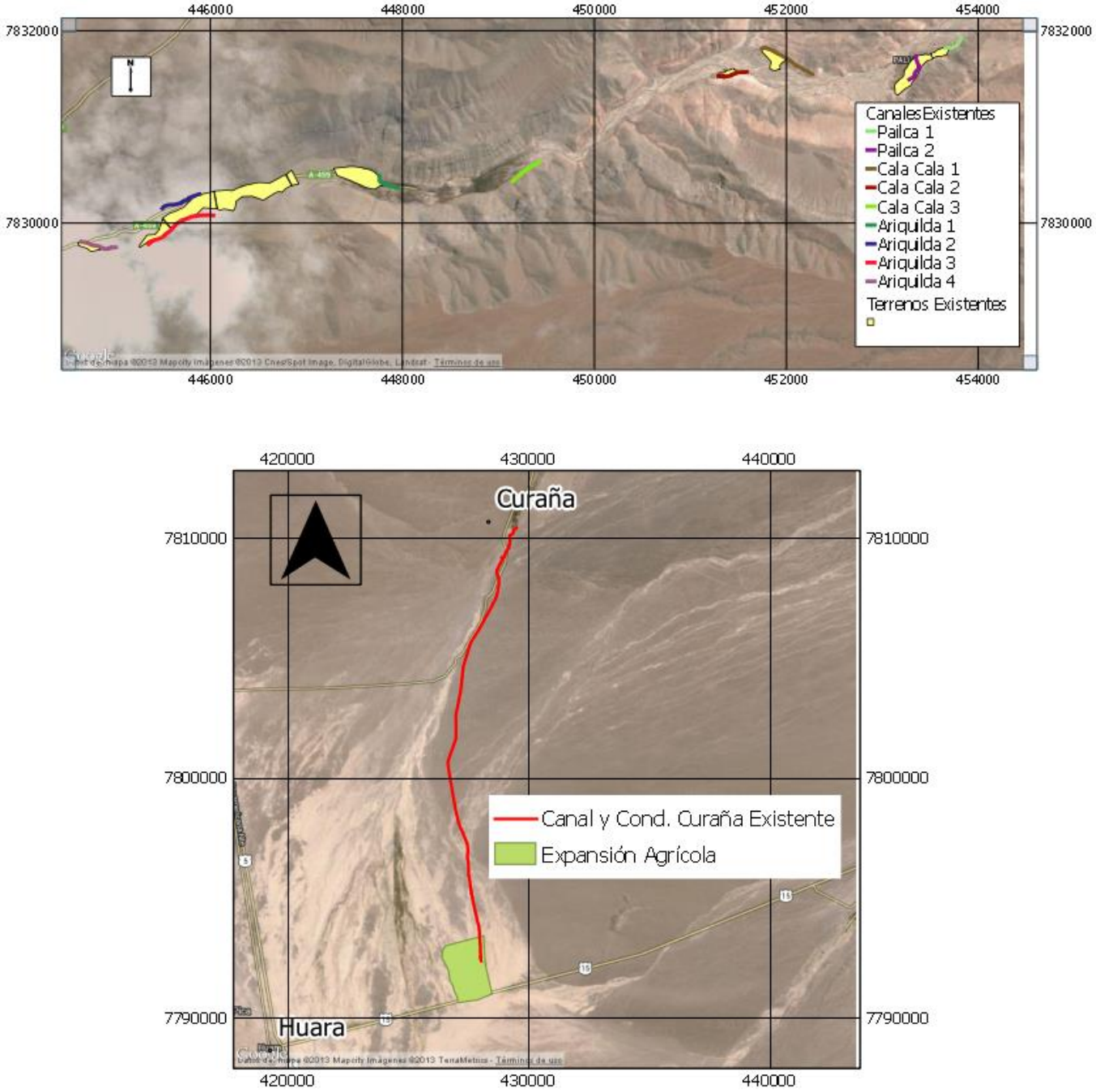
| Nombre | Descripción | Bocatoma |
|---|---|---|
| Cala Cala 3 | Acequia sin uso. Lo que queda de acequia se pierde a los 118 metros desde donde no se puede seguir su huella. | No existe bocatoma |
| Ariquilda 1 | Acequia Actualmente con Riego | Bocatoma en buen estado de piedras y paños |
| Ariquilda 2 | Acequia sin uso. Los primeros 264 metros se distingue un tramo medianamente definido de acequia luego la huella se pierde y es intermitente | No existe bocatoma |
| Ariquilda 3 | Acequia con Riego | Bocatoma en buen estado de piedras y paños |
| Ariquilda 4 | Acequia sin uso. Cortado por el paso de una quebrada lateral. Sólo existe una huella del paso del agua | No existe bocatoma |
| Curaña | Acequia sin uso. | Bocatoma en mal estado y poco definida |
| | Tubería sin uso. Estancado con tierra y destruida en algunos tramos | |

Fuente: Elaboración propia

Todas las obras de conducción encontradas, salvo la tubería del sector de Curaña, están construidas en tierra y presentan secciones irregulares, además existen tramos destruidos (por el paso del agua en crecidas), tramos embancados y presencia de maleza entre otros.
En el caso de la tubería que va desde Curaña a Cerro Unitas (Asoc. Valle Verde), se encuentra sin uso, con tramos cortados por el paso del agua y cámaras estancadas.
Dadas las condiciones actuales de la infraestructura existente en la quebrada se propone el mejoramiento de los canales del sector 1 que permitan el riego de los predios existentes y la proyección de una nueva conducción para abastecer la zona de expansión agrícola.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.5.3.1-1**
**UBICACIÓN OBRAS EXISTENTES**




Fuente: Elaboración propia a partir de Qgis


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## 6.5.3.2. Trazado Nueva Red de Distribución

Los trazados de la nueva red de canales se asocian a las potenciales zonas de riego. En el Cuadro 6.5.3.2-1 se presenta el vínculo entre los predios beneficiados y los canales existentes del sector 1 de riego. En el caso de la tubería existente en el sector de Curaña, se propone trazar una nueva conducción de mayor capacidad, con el fin de permitir el riego de la zona de expansión agrícola.

**CUADRO 6.5.3.2-1**
**DESCRIPCIÓN CANALES NUEVA RED DE RIEGO**

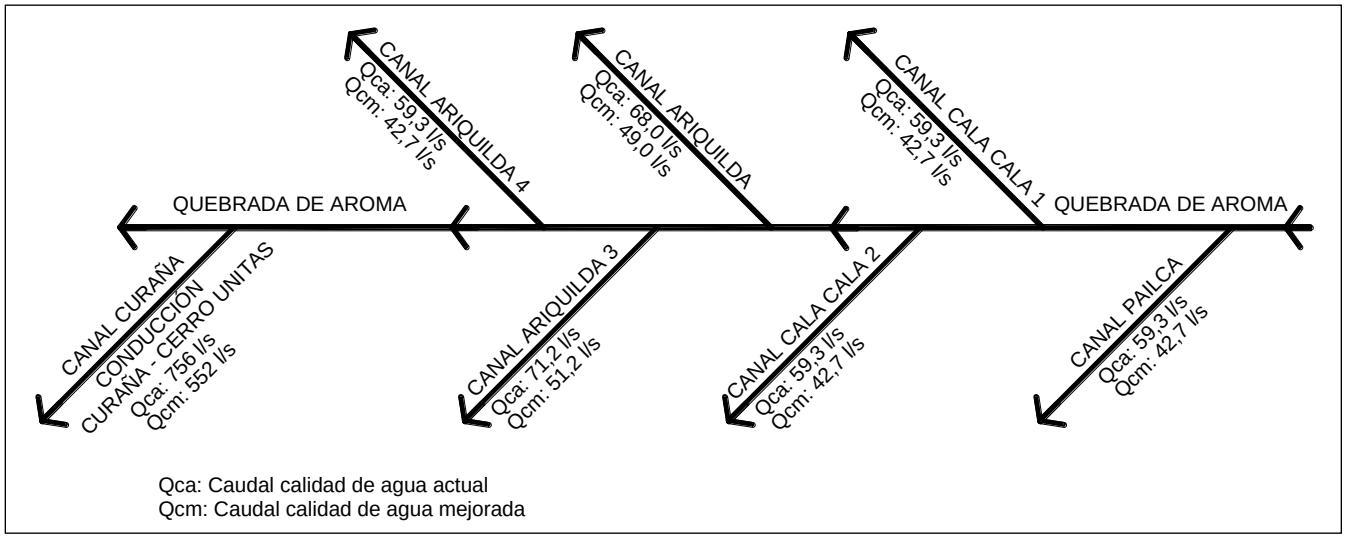
| Nombre Propietario | Canal | Nombre Propietario | Canal |
|---|---|---|---|
| Valentín Mamani | Pailca 1 | Herlinda Choque García (*) | Ariquida 1 extendido |
| Basilio Mamani García | Pailca 1 | Eleno Choque García | Ariquida 1 extendido |
| Silvia Amache | Cala Cala 1 | Eleno Choque García | Ariquilda 3 |
| Silvia Amache | Cala Cala 2 | Epifania Gomez | Ariquilda 3 |
| Osvaldo Fuentes | Ariquida 1 extendido | Jorge Eustaquio Choque (*) | Ariquilda 4 |
| José Evaristo Choque | Ariquida 1 extendido | - | - |

(*) Bien nacional (en trámite de propiedad)

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6.5.3.2-1 se muestran en un diagrama unifilar los trazados de la nueva red. Además, se incluye una copia en pdf en el Anexo 6-7.

**FIGURA 6.5.3.2-2**
**DIAGRAMA UNIFILAR SISTEMA DE RIEGO PROPUESTO**




Nota: Los caudales son los indicados en el acápite 6.5.3.3.

Fuente: Elaboración propia


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 6.5.3.3. Caudales y Sistema de Turnos

Conocidas las hectáreas en cada predio y las tasas de riego de cada sector agrícola se procedió a calcular los caudales por cada conducción. Para ello se consideró el mes de mayor demanda ya que así se asegura que el canal tenga una capacidad de porteo adecuada. En vista de que la mayoría de los caudales obtenidos son pequeños en el sector 1, se propone un sistema de turnos para los canales de dicho sector. En el Cuadro 6.5.3.3-1 y 6.5.3.3-2 se resumen los caudales con y sin turnos para el escenario de calidad actual y mejorada respectivamente, además se incluye el número de días correspondiente a cada canal.

**CUADRO 6.5.3.3-1**
**RESUMEN CAUDALES Y TURNOS DE RIEGO (CALIDAD ACTUAL)**

| Canal | Área potencialmente productiva (ha) | Caudal (L/s) | Turnos (días) | Turnos adoptados (días) | Caudal por turnos adoptados (L/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| Pailca | 4,0 | 7,65 | 3,6 | 4,0 | 59,3 |
| Cala Cala 1 | 3,0 | 5,74 | 2,7 | 3,0 | 59,3 |
| Cala Cala 2 | 1,0 | 1,91 | 0,9 | 1,0 | 59,3 |
| Ariquilda 1 | 19,5 | 37,30 | 17,5 | 17,0 | 68,0 |
| Ariquilda 3 | 6,0 | 11,48 | 5,4 | 5,0 | 71,2 |
| Ariquilda 4 | 1,0 | 1,91 | 0,9 | 1,0 | 59,3 |
| Total | 34,5 | 66,0 | 31 | 31 | |

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 6.5.3.3-2**
**RESUMEN CAUDALES Y TURNOS DE RIEGO (CALIDAD MEJORADA)**

| Canal | Área potencialmente productiva (ha) | Caudal (L/s) | Turnos (días) | Turnos adoptados (días) | Caudal por turnos adoptados (L/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| Pailca | 4,0 | 5,51 | 3,6 | 4,0 | 42,7 |
| Cala Cala 1 | 3,0 | 4,13 | 2,7 | 3,0 | 42,7 |
| Cala Cala 2 | 1,0 | 1,38 | 0,9 | 1,0 | 42,7 |
| Arequilda 1 | 19,5 | 26,85 | 17,5 | 17,0 | 49,0 |
| Arequilda 3 | 6,0 | 8,26 | 5,4 | 5,0 | 51,2 |
| Arequilda 4 | 1,0 | 1,38 | 0,9 | 1,0 | 42,7 |
| Total | 34,5 | 47,51 | 31 | 31 | |


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: Elaboración propia

En el caso del sector 2, el caudal asociado a las ha propuestas es de 756 y 552 L/s para el escenario 1 y 2 respectivamente.

### 6.5.3.4. Diseños Propuestos

A partir de los caudales obtenidos se realizaron diseños para los canales del sector 1 considerando el sistema de turnos indicado en el acápite 6.5.3.3.

Además, se obtuvieron los diseños paramétricos de la conducción Curaña - Cerro Unitas para distintos rangos de caudales, anticipando que los caudales necesarios para satisfacer la demanda de 400 ha en la pampa (sector 2) no podrían ser aportados por el embalse con una seguridad de riego de 85%.

Esta condición se debe a que la tasa de riego considerada en primera instancia, para definir la superficie que podría ser beneficiada, fue de 953 $m^3$/há/mes en promedio y que, luego de los análisis realizados en el estudio agroeconómico, esta tasa aumentó a 2.823 $m^3$/há/mes, afectando directamente a la superficie beneficiada.

Finalmente, se proponen los trazados de los canales del sistema de distribución secundaria en el sector 2.

- **Criterios de Diseños**

Se definieron los siguientes criterios de diseño.

- Canales sector 1
    - Caudal de diseño: se considera caudal de diseño el obtenido al aplicar el sistema de turnos propuesto para el sector 1 para el escenario 1. Dichos caudales fueron redondeados a números cerrados enteros.
    - Los canales se proyectan en sección rectangular y revestidos con losetas de hormigón.
    - La pendiente de los canales será la misma que se ha encontrado en terreno, de acuerdo a la restitución aerofotogramétrica realizada para la presente consultoría.
    - El cálculo hidráulico se realizó utilizando la ecuación de manning considerando una rugosidad "n" igual a 0,015 para el hormigón. Este cálculo se hizo por tramos de 20 metros de longitud.
- Conducción Sector 2 en canal
    - Se diseña en forma paramétrica para diferentes caudales (50, 100, 200, 300, 400, 600 y 600 L/s).


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Los caudales se proyectan revestidos en hormigón con una sección rectangular, preferentemente que no sean de altura mayor a los 0,6 metros.
- El flujo dentro del canal debe ser de preferencia subcrítico y cumplir con la razón En/Ec>1,1; donde "En" es la energía del escurrimiento con altura normal y "Ec" es la energía de escurrimiento crítico.
- La pendiente de los canales será la misma que se ha encontrado en terreno, de acuerdo a la restitución aerofotogramétrica realizada para la presente consultoría, con una pendiente mínima de 2/1000. La pendiente máxima es la necesaria para cumplir con la relación En/Ec>1,1.
- El cálculo hidráulico se realizó utilizando la ecuación de manning considerando una rugosidad "n" igual a 0,015 para el hormigón. Este cálculo se hizo por tramos de 100 metros de longitud.

- Conducción Sector 2 en Acueducto

  - Se diseña en forma paramétrica para diferentes diámetro de tubería, de preferencia HDPE PN4 (250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710 y 800 mm). El diámetro es constante de principio a fin.
  - Para cada diámetro se definen los rangos de caudal que cumplan con la relación h/D>=0,8 a lo largo de todo el trazado; donde h es la altura de escurrimiento y D es el diámetro interno de la tubería.
  - La pendiente de los canales será la misma que se ha encontrado en terreno, de acuerdo a la restitución aerofotogramétrica realizada para la presente consultoría, con una pendiente mínima de 3/1.000 y una máxima de 9/1.000.
  - El cálculo hidráulico se realizó utilizando la ecuación de manning considerando una rugosidad "n" igual a 0,011 para la tubería de HDPE. Este cálculo se hizo por tramos de 100 metros de longitud.

- Conducción Sector 2 en Presión

  - Se diseña en forma paramétrica para diferentes caudales (50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800 L/s).
  - La velocidad máxima del flujo no debe superar los 3,0 m/s..
  - El material de la tubería es HDPE PE100 PN6, por lo tanto las presiones no pueden ser mayores a 60 mca. Se considera una presión inicial de 5 mca.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- El cálculo hidráulico se realizó utilizando la ecuación de Bernoulli. Las pérdidas friccionales se calcularon a partir de los métodos de Hazen-Williams (C = 150 para el HDPE) y Darcy-Weisbach (n = 0,011) Este cálculo se hizo por tramos de 100 metros de longitud. Las pérdidas singulares fueron despreciadas.

- **Resultados**

Los diseños de los canales que conformarían la red de distribución del sector 1 de riego se resumen en el Cuadro 6.5.3.4-1, el detalle de los cálculos se adjunta en el Anexo 6-8.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 6.5.3.4-1
## RESUMEN RESULTADOS CANALES SECTOR 1 DE RIEGO

| Canal | Caudal de Diseño (L/s) | Pendiente promedio | Altura normal promedio (m) | Ancho máx. canal (m) | Ancho mín. canal (m) | Altura máx. canal (m) | Altura mín. canal (m) | Velocidad máx. (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pailca | 60 | 0,015 | 0,17 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,30 | 1,33 |
| Cala Cala 1 | 60 | 0,013 | 0,22 | 0,40 | 0,30 | 0,40 | 0,20 | 1,00 |
| Cala Cala 2 | 60 | 0,026 | 0,16 | 0,40 | 0,30 | 0,40 | 0,20 | 1,49 |
| Ariquilda 1 | 70 | 0,004 | 0,29 | 0,40 | 0,30 | 0,50 | 0,30 | 0,78 |
| Ariquilda 3 | 72 | 0,023 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,30 | 1,25 |
| Ariquilda 4 | 60 | 0,020 | 0,15 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,20 | 1,50 |

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en los cuadros 6.5.3.4-2, 6.5.3.4-3 y 6.5.3.4-4 se incluyen los diseños, para un rango de caudales entre los 720 y 32 L/s, de la conducción Curaña-Cerro Unitas considerando tres tipos de conducción: en canal, en acueducto y en presión.

## CUADRO 6.5.3.4-2
## RESUMEN RESULTADOS CONDUCCIÓN CURAÑA-CERRO UNITAS EN CANAL

| Caudal Diseño (L/s) | Pendiente máx. | Altura normal promedio (m) | Ancho Canal (m) | Altura Canal Máx. (m) | Altura Canal Mín. (m) | En/Ec>1,10 min | v máx. (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 50 | 0,0040 | 0,27 | 0,30 | 0,40 | 0,40 | 1,12 | 0,83 |
| 100 | 0,0038 | 0,34 | 0,40 | 0,50 | 0,40 | 1,10 | 0,96 |
| 200 | 0,0031 | 0,37 | 0,60 | 0,50 | 0,50 | 1,10 | 1,06 |
| 300 | 0,0026 | 0,38 | 0,80 | 0,50 | 0,50 | 1,10 | 1,10 |
| 400 | 0,0024 | 0,38 | 1,00 | 0,50 | 0,50 | 1,10 | 1,14 |
| 500 | 0,0024 | 0,44 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 1,10 | 1,21 |
| 600 | 0,0022 | 0,42 | 1,20 | 0,60 | 0,60 | 1,10 | 1,22 |
| 700 | 0,0022 | 0,47 | 1,20 | 0,60 | 0,60 | 1,11 | 1,27 |
| 800 | 0,0022 | 0,52 | 1,20 | 0,70 | 0,70 | 1,11 | 1,32 |

Fuente: Elaboración Propia

## CUADRO 6.5.3.4-3
## RESUMEN RESULTADOS CONDUCCIÓN CURAÑA-CERRO UNITAS EN ACUEDUCTO

| Diámetro (mm) | Caudal Diseño (L/s) | h/D máx. | Rango Caudal (L/s) | v máx. (m/s) |
|---|---|---|---|---|
| 250 | 32 | 0,80 | - | 1,34 |
| 280 | 44 | 0,79 | 44-33 | 1,45 |
| 315 | 60 | 0,80 | 60-45 | 1,57 |
| 355 | 83 | 0,80 | 83-61 | 1,71 |
| 400 | 110 | 0,77 | 110-84 | 1,83 |
| 450 | 150 | 0,76 | 150-111 | 1,98 |
| 500 | 210 | 0,80 | 210-151 | 2,15 |
| 560 | 280 | 0,79 | 280-211 | 2,31 |
| 630 | 380 | 0,79 | 380-281 | 2,49 |
| 710 | 530 | 0,80 | 530-381 | 2,71 |
| 800 | 720 | 0,79 | 720-531 | 2,93 |
| 900 | 1000 | 0,80 | 1000-721 | 3,18 |

Fuente: Elaboración Propia

## CUADRO 6.5.3.4-4
## RESUMEN RESULTADOS CONDUCCIÓN CURAÑA-CERRO UNITAS EN PRESIÓN

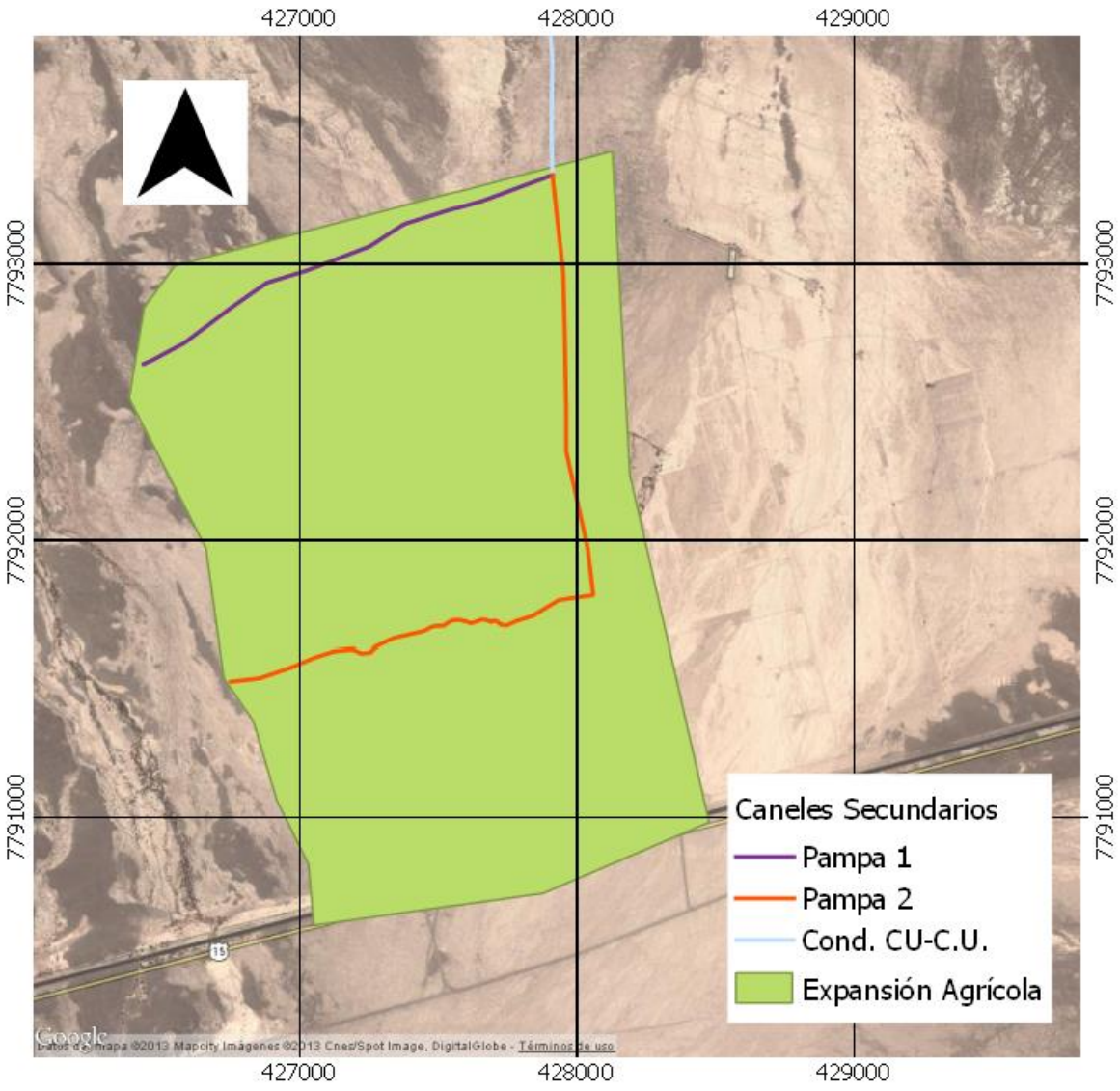
| Q de diseño (L/s) | Diámetro (mm) | velocidad (m/s) | Longitud (m) | Presión Máx. (m) | Presión Final. (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 50 | 250-225 | 1,60-1,30 | 9.900-9.740 | 41,09 | 1,01 |
| 100 | 315-280 | 2,07-1,63 | 16.900-2.740 | 33,65 | 5,12 |
| 200 | 400 | 2,03 | 19.640 | 23,18 | 2,63 |
| 300 | 500-450 | 2,40-1,94 | 7.640-12.000 | 26,87 | 1,55 |
| 400 | 560-500 | 2,59-2,07 | 9.900-9.740 | 45,67 | 9,17 |
| 500 | 710-560 | 2,58-1,61 | 2.440-17.200 | 18,33 | 7,78 |
| 600 | 630-560 | 3,098-2,45 | 14.900-4.740 | 39,21 | 3,63 |
| 700 | 710-630 | 2,86-2,25 | 4.240-15.400 | 13,92 | 1,79 |
| 800 | 710 | 2,57 | 19.640 | 44,30 | 34,31 |

Fuente: Elaboración Propia

- **Trazados tentativos red secundaria sector 2**

En la Figura 6.5.3.4-1 se incluyen los trazados preliminares de la red secundaria propuesta para el sector 2. Cabe indicar que esta red está sujeta a cambios en la medida que varíen las hectáreas posibles de regar.

**FIGURA 6.5.3.4-1**
**TRAZADO TENTATIVO RED SECUNDARIA**




Fuente: Elaboración Propia a partir de QGis


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## *6.6. Tenencia de la Tierra*

En el presente capítulo se presenta la caracterización de tenencia de la tierra, la que se realizó a través del análisis de la información generada en los organismos públicos pertinentes.

### 6.6.1. Aspectos Básicos del Área de Estudio

El área de estudio se caracteriza por estar ubicada en un sector rural de la comuna de Huara, el cual por sus características geográficas y climáticas, albergó la actividad agrícola en un sector del valle de la quebrada de Aroma, en los sectores de Aroma, Misticsa, Pailca, Cala Cala, Ariquilda y Curaña. Esta actividad aún se mantiene en la quebrada, mas en una intensidad baja, ejecutada por algunos agricultores de ascendencia indígena que cultivan sectores del lecho del río.

Esta área se puede clasificar en área de obras propuestas y sector beneficiado. Este último se puede subclasificar como área agrícola actual (sector 1) y el área de expansión agrícola (sector 2).

La información pertinente del área de estudio fue solicitada a Bienes Nacionales y al Servicio de Impuestos Internos, la que fue contrastada con información proporcionada por CONADI y con información de terreno entregada por lugareños.

### 6.6.2. Tenencia de la Tierra

La tenencia de la tierra "es la relación, definida en forma jurídica o consuetudinaria, entre personas, en cuanto individuos o grupos, con respecto a la tierra (FAO, 2003)[23]". Por lo que la tenencia jurídica de la tierra puede no coincidir con la ocupación que se hace de ella, en este caso de carácter consuetudinario, por los pueblos originarios del valle de Aroma.

#### 6.6.2.1. Tenencia Jurídica

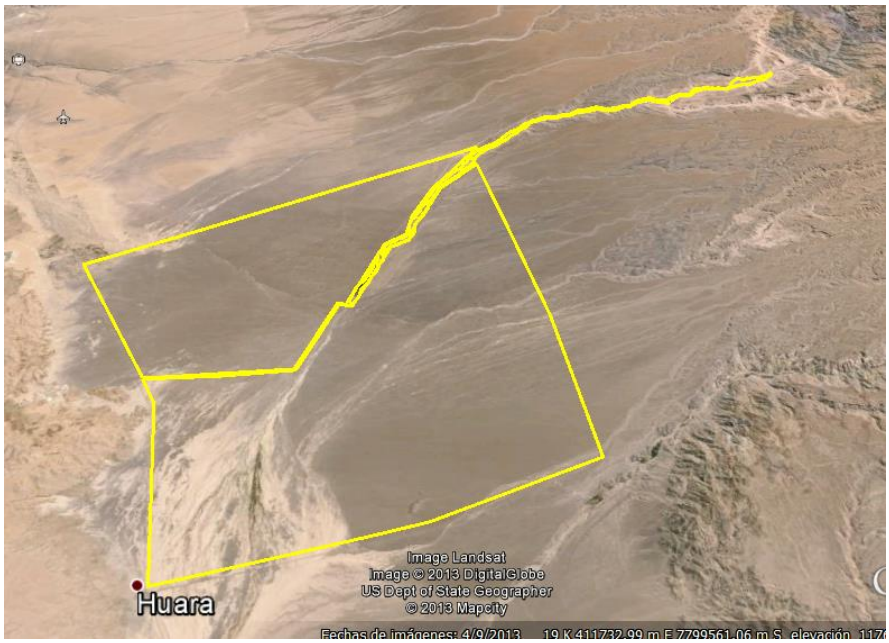
El área de la que se solicitó información a las entidades públicas, se presenta en la Figura 6.6.2.1-1.

La información emanada del Ministerio de Bienes Nacionales, a partir de la Secretaría Regional Ministerial de la Región de Tarapacá, indica que en su mayoría el terreno corresponde a propiedad fiscal, inscrita a favor del Fisco a Fojas 78 bajo el N° 77 del año 1985, fojas 1396 bajo el N° 1366 del año 1983 y fojas 1380 bajo el N° 1364 del año 1983, todas del Conservador de Bienes Raíces (CBR) de Pozo Almonte, las que se encuentran en carácter de propiedad fiscal disponible, en trámite de administración y enajenada previamente [24]. Además se sostuvieron algunas reuniones con los funcionarios de la institución para aclarar algunas dudas.

[23] FAO, 2003. Tenencia de la Tierra y Desarrollo Rural. Estudios sobre la Tenencia de la Tierra.
[24] En el Anexo 6-9 se presenta el oficio de respuesta a la información requerida.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.6.2.1-1**
**ÁREA SOLICITUD DE INFORMACIÓN**




Fuente: Elaboración propia, sobre imagen Google Earth.

La inscripción a Fojas 78, N° 77 del año 1985, indica que corresponde a una Reinscripción Dominio del Fisco de Chile y tiene los siguientes límites:

Norte: Desde Caleta Camarones, una línea que va por el río Camarones hasta el lugar denominado Illapata, desde Illapata una línea que va por el límite sur de las provincias de Arica y Parinacota hasta el cerro capitán en el límite internacional con Bolivia.

Este: Desde el cerro Capitán, una línea que va por el límite internacional con Bolivia, hasta el río Sitani.

Sur: Desde el río Sitani una línea a las cumbres de los cerros Sauceña y Guariplaza, la intersección de las quebradas de Aroma y Puchuldiza, desde esta intersección una línea que va por la quebrada de Aroma hasta el punto denominado Curaña, desde Curaña una línea que va por la pampa hasta llegar a la línea del ferrocarril de Huara a Negreitas.

Oeste: Desde la línea del ferrocarril de Huara a Negreiras, una línea que va por los pueblos de Dolores y Zapiga, quebrada de Retamilla y Tana, hasta la desembocadura de la quebrada de Tana hasta Caleta de Camarones con mar de Chile.

Esta inscripción posee más de 200 subinscripciones al margen y en hojas anexas.
La inscripción a Fojas 1396, N° 1366 del año 1983, indica que corresponde a Brenda Cortés Painamil y tiene los siguientes límites:

Norte: Una línea que partiendo de Euroña exclusive termina en la oficina Tía María inclusive.
Este: Sea la que partiendo de Euroña exclusive termina en la "Taberna".
Sur: Una línea que partiendo de la oficina Tía María termina en el cerro de Huadar y sigue hasta la estación de las carpas inclusive.

La inscripción a Fojas 1380, N° 1364 del año 1983, indica que corresponde Mirianne Zúñiga Cienega y tiene los siguientes límites:

Norte: Quebrada de Aroma.
Este: Con límite internacional.
Sur: Camino que partiendo de Cabropasa por Macaja y Yobicora hasta la cordillera.
Oeste: Línea recta partiendo de Curaña llegue a la Cabra.

Respecto del sector propuesto como expansión agrícola (sector 2), corresponde a terrenos fiscales y a su alrededor hay terrenos destinados a un servicio público, además de Concesiones de uso gratuito a la Asociación Indígena Unión de Chacareros de Puchuldiza y a la Asociación Indígena Valle Verde.

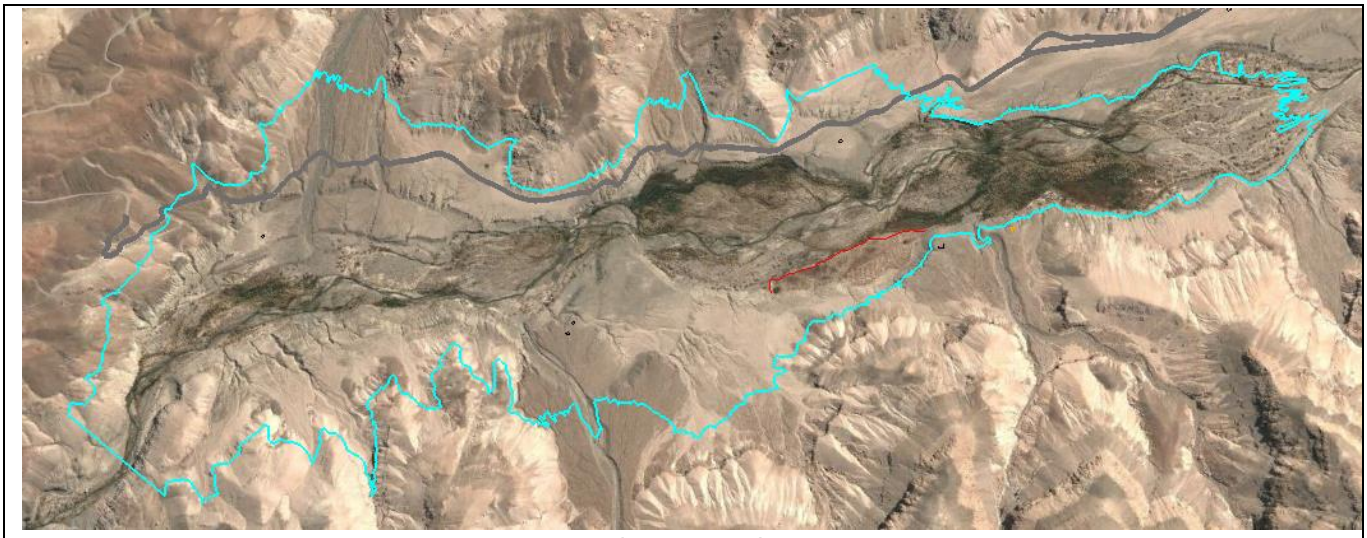
### 6.6.3. Ocupación de Tierras

## 6.6.3.1. Área de Obras Propuestas

En el área a expropiar no se encuentran personas ocupando el territorio, ni construcciones que hagan suponer un uso actual, sin embargo se ve la presencia de cercos, eras abandonadas y pircas a modo de corrales, lo que hace suponer que existió uso agrícola y ganadero de algunos sectores, lo que se muestra en la Figura 6.3.3.1-1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

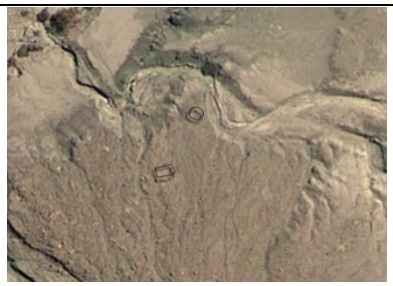
**FIGURA 6.6.3.1-1**
**ÁREA DE OBRAS PROPUESTAS**



Vista General



Detalle Cerco



Detalle Pirca



Detalle Pirca

Fuente: Restitución Aerofotogramétrica.

## 6.6.3.2. Área Agricultura Actual (Sector 1)

Actualmente se realiza agricultura y riego a través de canales ubicados en los sectores adyacentes al río Aroma, aguas abajo de las obras proyectadas en los sectores de Pailca, Cala Cala y Ariquilda (de oriente a poniente).

Estas propiedades se encuentran ocupadas por familias que practican la agricultura consuetudinaria, existiendo solamente un predio con registros en el Ministerio de Bienes Nacionales. Los límites prediales se establecieron en visita a terreno, apoyados en imágenes de Google Earth, ya que no se tienen límites claros de cada una de las propiedades, excepto de la Nº 1, cuyo plano se presenta en el Anexo 6-10. Los ocupantes o propietarios aparentes de los predios se presentan en el Cuadro 6.6.3.2-1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 6.6.3.2-1**
**PROPIEDADES SECTOR 1**

| N° | Localidad | Propietario Aparente | Superficie Total Estimada (ha) | Fuente Información |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Pailca | Basilio Mamani García | 1,5 | Ministerio Bienes Nacionales |
| 2 | Pailca | Valentín Mamani e Ilario Mamani | 6,0 | Información en terreno y Ministerio Bienes Nacionales |
| 3 | Cala Cala | Suc. José Amache | 3,0 | Información en terreno |
| 4 | Cala Cala | Suc. José Amache | 1,0 | Información en terreno |
| 5 | Ariquilda | Osvaldo Fuentes | 7,0 | Información en terreno |
| 6 | Ariquilda | Jorge Evaristo Choque | 1,0 | Información en terreno |
| 7 | Ariquilda | Herlinda Choque García[25] | 12,0 | Información en terreno |
| 8 | Ariquilda | Eleno Choque García | 8,0 | Información en terreno |
| 9 | Ariquilda | Epifania Choque | 2,5 | Información en terreno |
| 10 | Ariquilda | Jorge Eustaquio Choque[26] | 1,0 | Información en terreno |

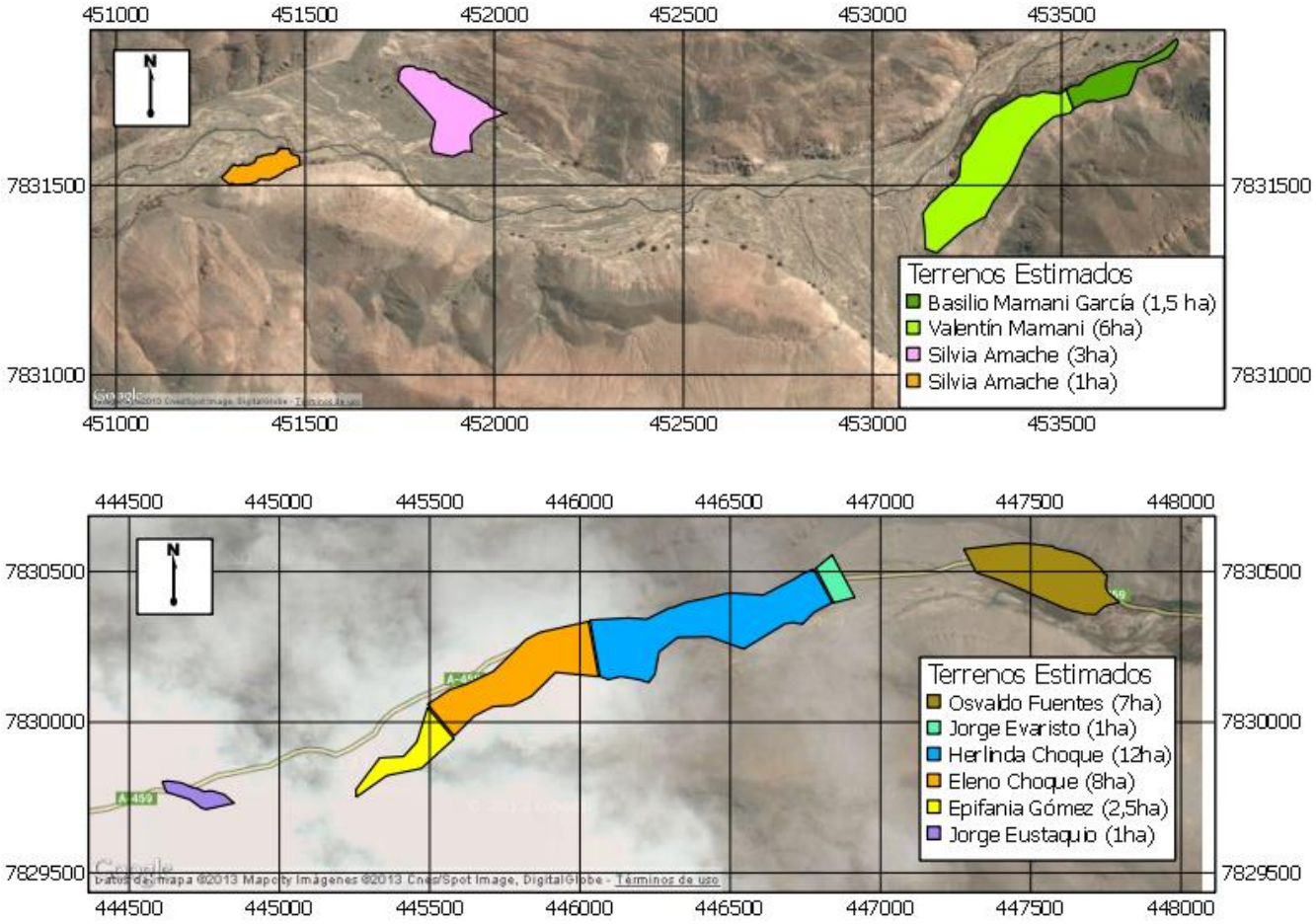
Fuente: Elaboración propia, basado en información del Ministerio de Bienes Nacionales e información recopilada en terreno.

En la Figura 6.6.3.2-1 se muestra la ubicación aproximada de los sitios que pertenecen al sector 1, obtenida a partir de los relatos obtenidos en terreno.

[25] El propietario declara encontrarse en trámite de regularización de la propiedad, por parte del Ministerio de Bienes Nacionales.
[26] El propietario declara encontrarse en trámite de regularización de la propiedad, por parte del Ministerio de Bienes Nacionales.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.6.3.2-1**
**UBICACIÓN ESTIMADA TERRENOS SECTOR 1**




Fuente: Elaboración propia, a partir de QGIS.

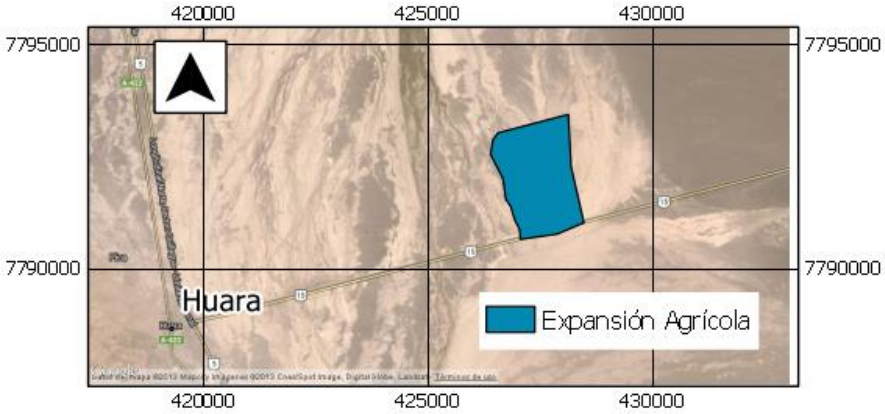
## 6.6.3.3. Área Expansión Agrícola (Sector 2)

Tal como se dijo anteriormente, este sector corresponde a terrenos fiscales y a su alrededor hay terrenos destinados a un servicio público, además de Concesiones de uso gratuito a la Asociación Indígena Unión de Chacareros de Puchuldiza y a la Asociación Indígena Valle Verde. Esta área se representa en la Figura 6.6.3.3-1.

Una obra asociada a esta área de expansión es la obra de conducción de las aguas desde Curaña, que corresponde a una conducción de un ancho máximo de 800 mm y de aproximadamente 22 km de largo, la que se presenta en la Figura 6.6.3.3-2. Toda la extensión de esta obra pasa por terrenos correspondientes a Bienes Nacionales.

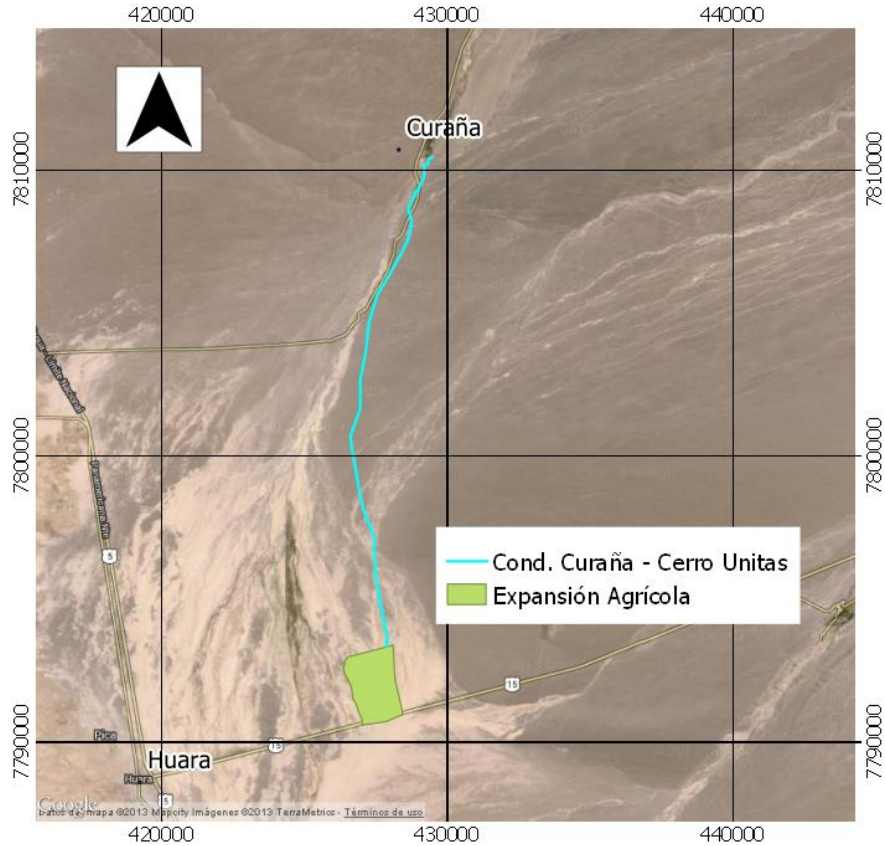

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.6.3.3-1**
**UBICACIÓN ESTIMADA TERRENOS SECTOR 2**




Fuente: Elaboración propia, a partir de QGIS.

**FIGURA 6.6.3.3-2**
**UBICACIÓN ESTIMADA OBRA CONDUCCIÓN**





Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: Elaboración propia, a partir de QGIS.

## 6.6.4. Propiedades Afectas a Expropiación

La superficie a expropiar corresponde a la superficie inundada por el embalse más la superficie ocupada por las obras anexas. Para ello se realizó una medición de la superficie a expropiar que se muestra en el Cuadro 6.6.4-1.

El lugar en que se encuentra en el sitio del embalse propuesto, en un escenario de máxima capacidad corresponde a Bienes Nacionales para las 3 alternativas estudiadas. Los planos de expropiaciones se ubican en el tomo de Planos, en las láminas EXP-PTN-01, EXP-PTN-02 y EXP-PTN-03.

Para efectuarse la obra de conducción se sugiere la instalación de un camino de inspección aledaño a la conducción, por lo que se estima un ancho de 5 m, la que se presenta en la lámina EXP-PTN-04 en el tomo de Planos.

**CUADRO 6.6.4-1**

**PROPIEDADES AFECTAS A EXPROPIACIÓN**

| LOTEO | Nº ROL DE AVALÚO SEGÚN SII | NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII | NOMBRE PROPIETARIO APARENTE | COMUNA | DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD | SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha) | OBSERVACIÓN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | SIN ROL | B.N.U.P | BIENES NACIONALES | HUARA | PINTANANE | 138,29 | MURO ALTERNATIVA 1 |
| 2 | SIN ROL | B.N.U.P | BIENES NACIONALES | HUARA | PINTANANE | 125,80 | MURO ALTERNATIVA 2 |
| 3 | SIN ROL | B.N.U.P | BIENES NACIONALES | HUARA | PINTANANE | 128,71 | MURO ALTERNATIVA 3 |
| 4 | SIN ROL | B.N.U.P | BIENES NACIONALES | HUARA | CURAÑA - CERRO UNITAS | 9,08 | CAMINO Y OBRA DE CONDUCCIÓN |

Fuente: Elaboración propia.

## 6.6.5. Valoración de los Terrenos

Se realizó una revisión de los libros de propiedad en el CBR de Pozo Almonte, donde no se registran compraventas en el valle de Aroma. El valor de la tierra se estimó a partir de antecedentes recopilados desde la misma fuente para el pueblo de Tarapacá (comuna de Huara), estimándose un valor por hectárea - actualizado al 1 de Diciembre de 2013 - de $2.700.000.

## *6.7. estudio sísmico*

### 6.7.1. Introducción

### 6.7.1.1. Resumen Ejecutivo

El presente capítulo se presenta los antecedentes geológicos, sismológicos y metodológicos utilizados para la estimación del Peligro Sísmico (probabilístico y determinístico. Para ello, se consideran las tres principales fuentes sismogénicas presentes en la zona (interplaca tipo thrust, intraplaca de profundidad intermedia y corticales), describiéndose cada una de ellas por separado. Se utilizan las leyes de atenuación definidas por Ruiz y Saragoni (2005), por ser las estimaciones más recientes hechas con datos exclusivamente chilenos y que considera la separación de las fuentes interplaca e intraplaca de profundidad intermedia, y las definidas por Campbell y Bozorgnia (2008) para la fuente cortical, por ser la más recientes. Se utilizan sismos máximos creíbles de magnitud 8,8, 8,0 y 7,5[27] para las fuentes interplaca tipo thrust, intraplaca de profundidad intermedia y cortical, respectivamente. Con ello, se estiman las aceleraciones horizontales máximas de 0,38 y 0,64 de la aceleración de gravedad, para períodos de retorno de 475 años (Sismo de Diseño) y 4.975 años (Sismo Máximo Creíble), respectivamente.

Posteriormente, se procede al análisis determinísitico, el cual considera las principales fuentes sismogénicas presentes en la zona (terremotos interplaca tipo thrust, intraplaca de profundidad intermedia y fallas corticales activas), describiéndose cada una de ellas por separado. Posteriormente, y a partir de un análisis detallado de las fuentes, se obtienen los parámetros solicitados para el terremoto máximo creíble de cada fuente sísmica descrita, permitiendo la estimación del peligro sísmico determinístico. En el presente estudio, se llega a que el terremoto máximo creíble corresponde a un evento intraplaca de profundidad intermedia (Ms = 8,0), mientras que para el sismo de diseño se obtiene un evento interplaca tipo thrust (Ms = 8,5), como el más representativo. Cabe destacar que todas las estimaciones presentadas en este estudio fueron hechas considerando roca o suelo duro.

### 6.7.1.2. Ubicación

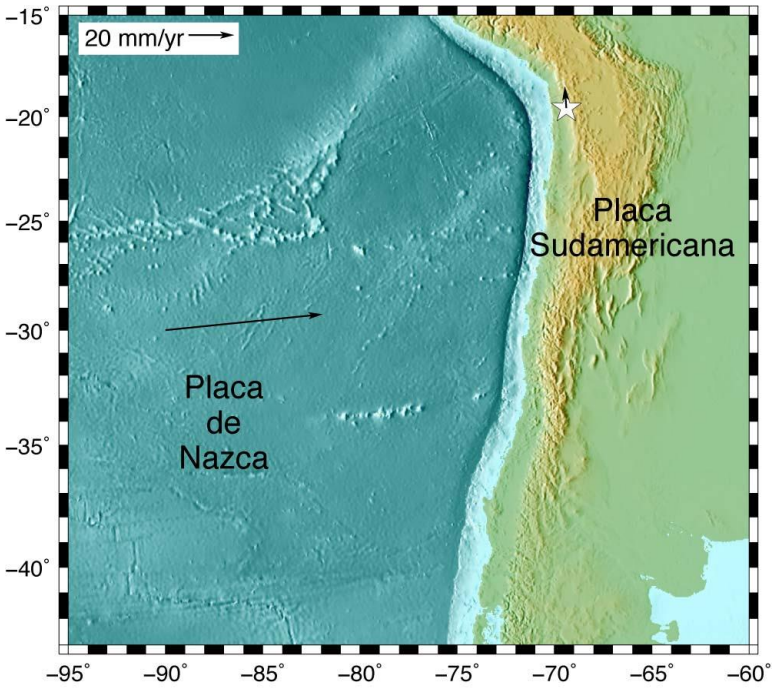
La zona de estudio se encuentra localizada, aproximadamente en las coordenadas 19,59°S, 69,40°W; indicado con una estrella blanca en la Figura 6.7.1.2-1. En dicha Figura también se presentan las placas tectónicas más importantes de la zona de estudio: placas de Nazca (de origen oceánico) y Sudamericana (de origen continental); las flechas indican el movimiento de las placas de acuerdo al modelo indicado en texto de la Figura. Actualmente, se estima la velocidad de convergencia en 63,0 mm/yr (Khazaradze & Klotz, 2003) produciendo la

[27] **Datos en Escala Ms de magnitud de ondas superficiales. Todas las magnitudes de sismos indicadas en el capítulo son referidas a esta escala, debido a que es la que de mejor manera representa el daño producido por un gran terremoto**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

colisión entre las placas de Nazca y Sudamericana, y luego la subducción de la primera bajo la segunda (ver Figura 6.7.1.2-3).
En la Figura 6.7.1.2-2 se presenta las estimaciones de la velocidad de la corteza, restringida a no tener rotación neta (Kreemer y otros, 2000, 2003); las flechas son proporcionales a la velocidad (ver escala en borde inferior izquierdo), las cuales reafirman la convergencia de las placas. Este proceso es el principal causante de la alta sismicidad observada en casi todo el oeste del continente Sudamericano.

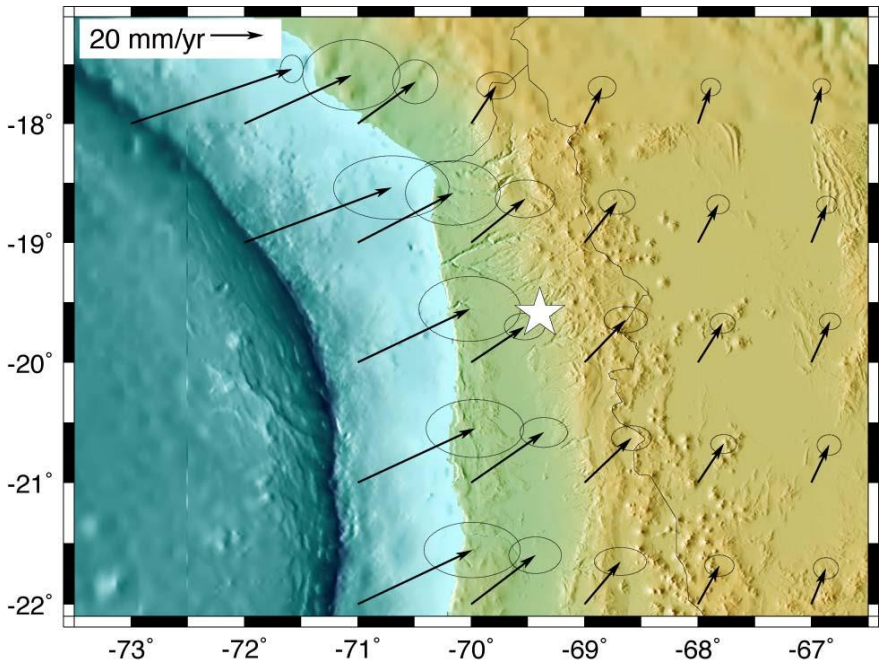
**FIGURA 6.7.1.2-1**
**MAPA TOPOGRÁFICO CON LA LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**




Fuente: Khazaradze & Klotz, 2003

La Figura 6.7.1.2-1 se representa con una estrella blanca la ubicación de la zona de estudio, donde además las flechas indican el movimiento de las placas (http://sps.unavco.org/crustal_motion/dxdt/gpsvel); la escala se encuentra en el borde superior izquierdo.

## FIGURA 6.7.1.2-2
## MAPA TOPOGRÁFICO REGIONAL CON VELOCIDAD DE MOVIMIENTO DE CORTEZA Y ERROR DE ESTIMACIÓN




Fuente: Kreemer y otros, 2000, 2003

La Figura 6.7.1.2-2 se muestra la velocidad de movimiento de la corteza por medio de las flechas, y el error de la estimación con figuras elípticas (Kreemer y otros, 2000, 2003). Además la escala se presenta en el borde superior izquierdo, y al igual que en la Figura 6.7.1.2-1, la localización del proyecto en estudio se muestra con una estrella blanca.

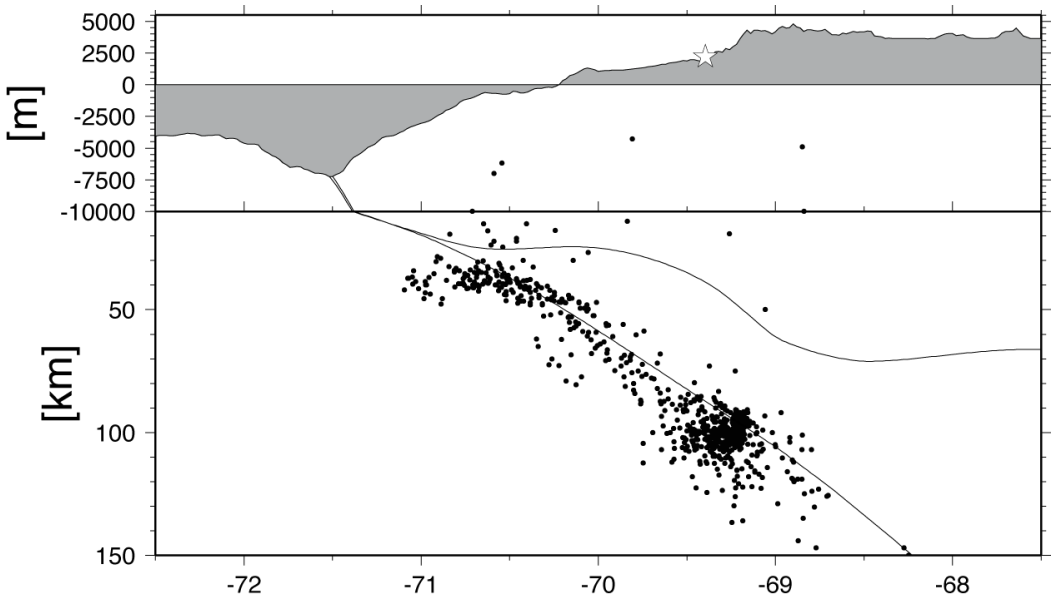
En la Figura 6.7.1.2-3 se presenta un corte de la Figura 6.7.1.2-1 y la Figura 6.7.1.2-2, a la altura de la localidad en estudio, donde se observa la interacción entre las placas de Nazca y Sudamericana. En ella también se han graficado los sismos registrados en la zona de estudio. En el contacto entre ellas se encuentran los terremotos interplaca tipo thrust (falla inversa de bajo ángulo), los cuales se caracterizan por ocurrir en la zona costera.

En el interior de la placa de Nazca ocurren terremotos de tipo intraplaca de profundidad intermedia, con hipocentros bajo el continente, mientras que los sismos más superficiales ocurren dentro de la placa Sudamericana (corticales, con profundidades < 25 km). Es posible observar a partir de esta Figura que los terremotos corticales registrados son escasos, pero aún así existe una cantidad suficiente para su apropiada caracterización en estudios probabilísticos, tal como se presentará más adelante. Como referencia en la figura el paralelo 19,6°S se ha marcado la posición del borde superior de la placa subductante (Nazca) y la inferior de la placa Sudamericana (Tassara y otros, 2006) y la estrella marca la posición del sitio en estudio.

## FIGURA 6.7.1.2-3


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CORTE DE LA SUBDICCIÓN CHILENA EN EL PARALELO 19,6°S**




Fuente: Tassara y otros, 2006

## 6.7.1.3. Antecedentes

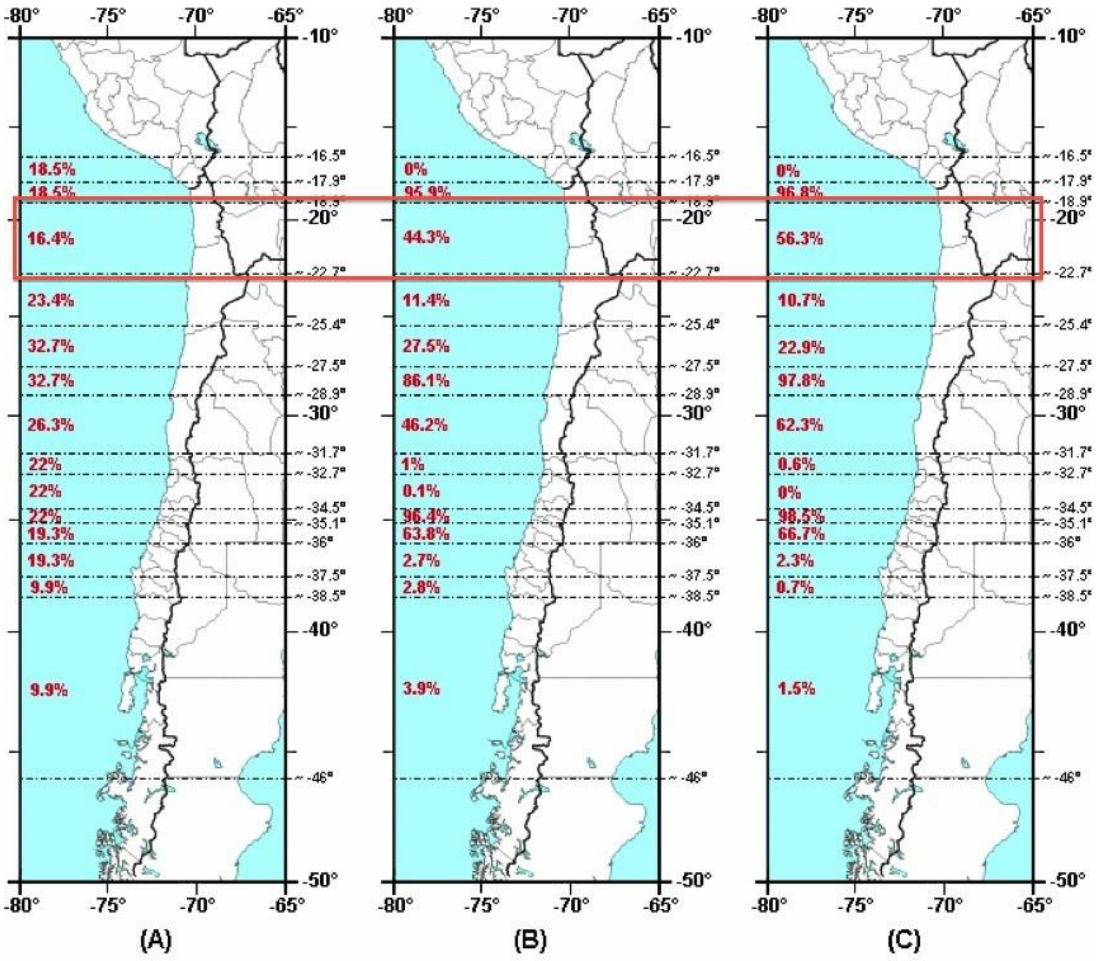
A continuación se presentan los antecedentes con que se contaba al momento de la elaboración de este informe. Ellos consisten en estimaciones previas del peligro sísmico hechas para la zona y datos de importantes terremotos históricos.

- **Trabajos Previos**

En Chile se han desarrollado varias investigaciones que estiman el peligro sísmico a diversas escalas. En primer lugar se muestran los resultados obtenidos por Susa (2004) en los cuales se estimó la probabilidad de ocurrencia de un terremoto de magnitud importante (sobre 7,0-7,5) en diversas regiones de nuestro país (ver Figura 6.7.1.3-1) dentro de un determinado rango de tiempo. Para la zona en estudio se tiene un rango entre 16% al 56% dependiendo del modelo probabilístico considerado. Cabe resaltar que los dos modelos que entregan mayores probabilidades (B y C en la Figura 6.7.1.3-1) son aquellos en los cuales se toma en cuenta el tiempo transcurrido desde el último gran terremoto, reflejando de mejor manera el ciclo sísmico.
Para determinar las probabilidades de ocurrencia se consideraron las siguientes distribuciones: (A) Poisson, (B) Weibull, determinada mediante mínimos cuadrados, y (C) Weibull, determinada mediante máxima verosimilitud (Susa, 2004).

**FIGURA 6.7.1.3-1**

**PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE UN TERREMOTO DE MAGNITUD SUPERIOR A 7.0-7.5 PARA EL PERÍODO COMPRENDIDO ENTRE 2004-2024**

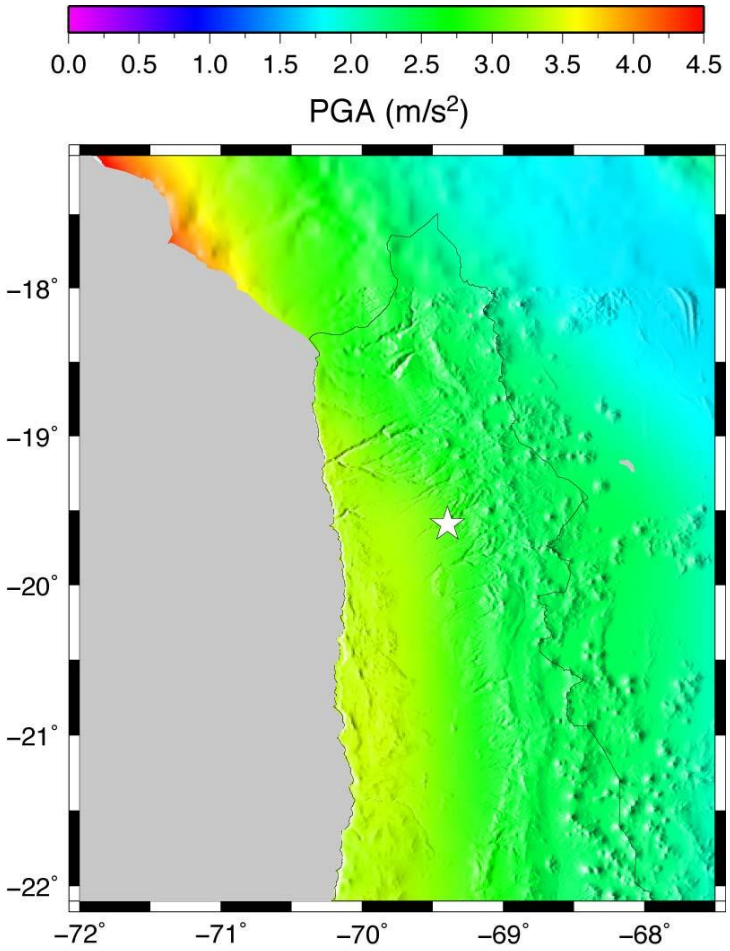



Fuente: Susa (2004)

Por otro lado, el proyecto *Global Seismic Hazard Assessment Program* (GSHAP) (Giardini y otros, 1992) desarrollado entre 1992 y 1999, tuvo como objetivo elaborar un mapa a escala global del peligro sísmico. Por ello, se estimó la aceleración máxima en la horizontal para un plazo de vida útil de 50 años considerando un 10% de probabilidad de excedencia (equivalente a un período de retorno de 475 años). Los resultados obtenidos para el área en estudio se presentan en la Figura 6.7.1.3-2.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.7.1.3-2**
**ESTIMACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO ELABORADO POR EL PROGRAMA GSHAP**




Fuente: (Giardini y otros, 1992)

En la Figura 6.7.1.3-2 el color presenta la aceleración máxima (en m/s2) en la componente horizontal que tiene un 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años (ver escala en el borde superior). La estrella blanca marca la posición del sitio estudiado.

Para la zona de estudio se tiene una aceleración máxima en la horizontal de 2.93 m/s$^2$ (29.9% g) para el período de retorno de 475 años. Cabe destacar que en el trabajo desarrollado por Giardini y otros (1992) no se mencionan estimaciones del error que este valor posee.

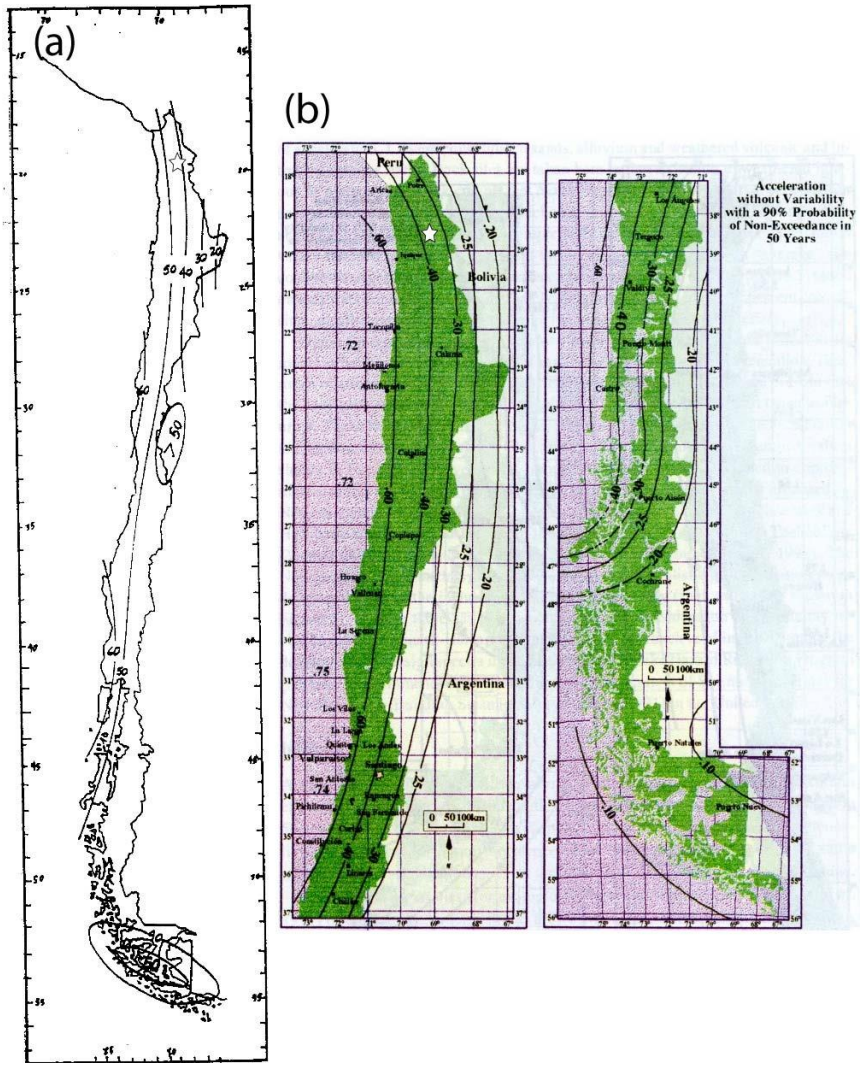
A nivel nacional se han desarrollado una serie de estudios que estiman el peligro sísmico de manera probabilística. Entre ellos, se destacan los desarrollados por Martin (1990) y Algermissen y otros (1992) los cuales se caracterizan por estar fuertemente influenciados por los registros obtenidos después del terremoto de Valparaíso de 1985; ambos estudios las fuentes interplaca tipo thrust e intraplaca de profundidad intermedia por separado. Martin (1990) define una ley de atenuación que todos los eventos registrados hasta ese


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

momento, sin separar aquellos de tipo interplaca de los intraplaca de profundidad intermedia. Por su parte, Algermissen y otros (1992) considera la ley de atenuación definida por Martin (1990) y, para las fuentes sismogénicas, este estudio define 16 fuentes planares que representan el contacto sismogénico, al igual que otras que incluyen las fuentes intraplaca de profundidad somera (fuentes corticales). Los resultados se presentan en la Figura 6.7.1.3-3, ambos para un periodo de retorno de 475 años.

**FIGURA 6.7.1.3-3**

**ESTUDIOS DE PELIGRO SÍSMICO PROBABILÍSTICOS HECHOS A NIVEL NACIONAL.**




Fuente: (a) Martin (1990) y (b) Algermissen y otros (1992)

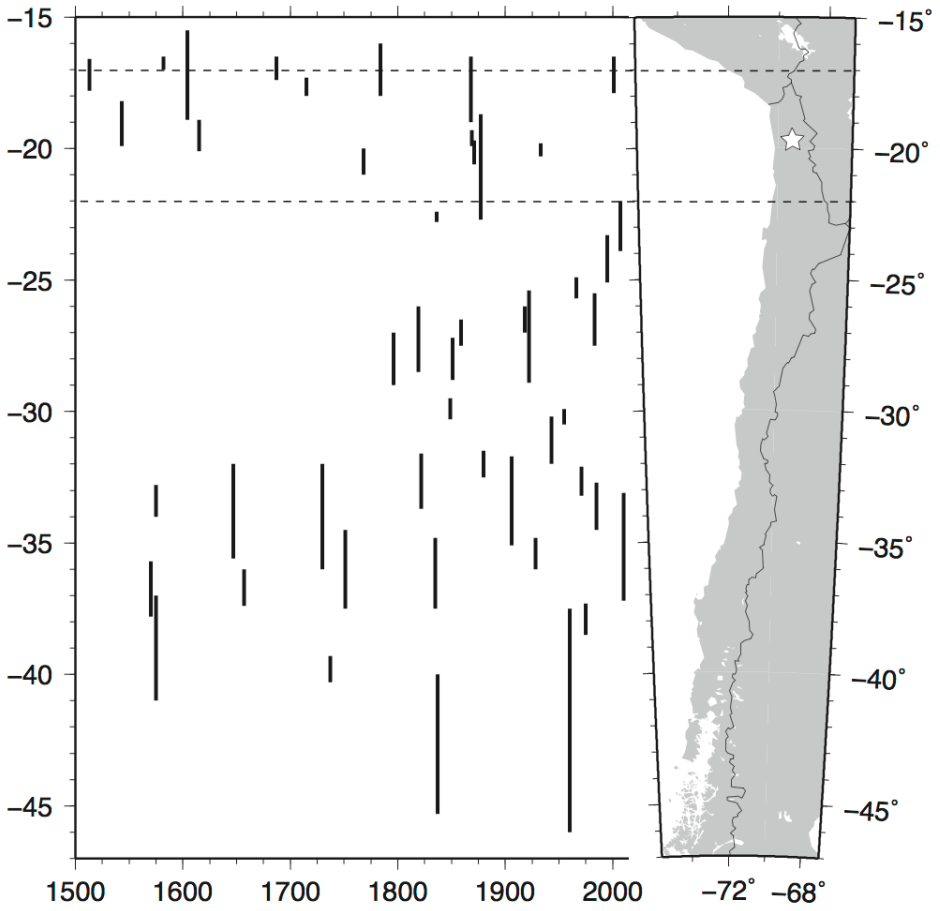

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

De estos estudios es posible ver que se estiman aceleraciones horizontales máximas de 44% y 36% en los estudios de Martin (1990) y Algermissen y otros (1992), para un periodo de retorno de 475 años.

- **Sismos históricos en la zona de estudio**

La zona donde se ubica el proyecto posee antecedentes históricos de grandes terremotos interplaca tipo thrust (terremotos de 1513, 1543, 1582, 1604, 1615, 1687, 1715, 1768, 1784, 1836, 1868, 1869, 1871, 1877, 1933 y 2001), los cuales se muestran en la Figura 6.7.1.3-4. Estos antecedentes son complementados con registros de grandes eventos de este tipo ocurridos en otras zonas del país.

**FIGURA 6.7.1.3-4**
**GRANDES TERREMOTOS INTERPLACA TIPO THRUST (FALLA INVERSA DE BAJO ÁNGULO)**





Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

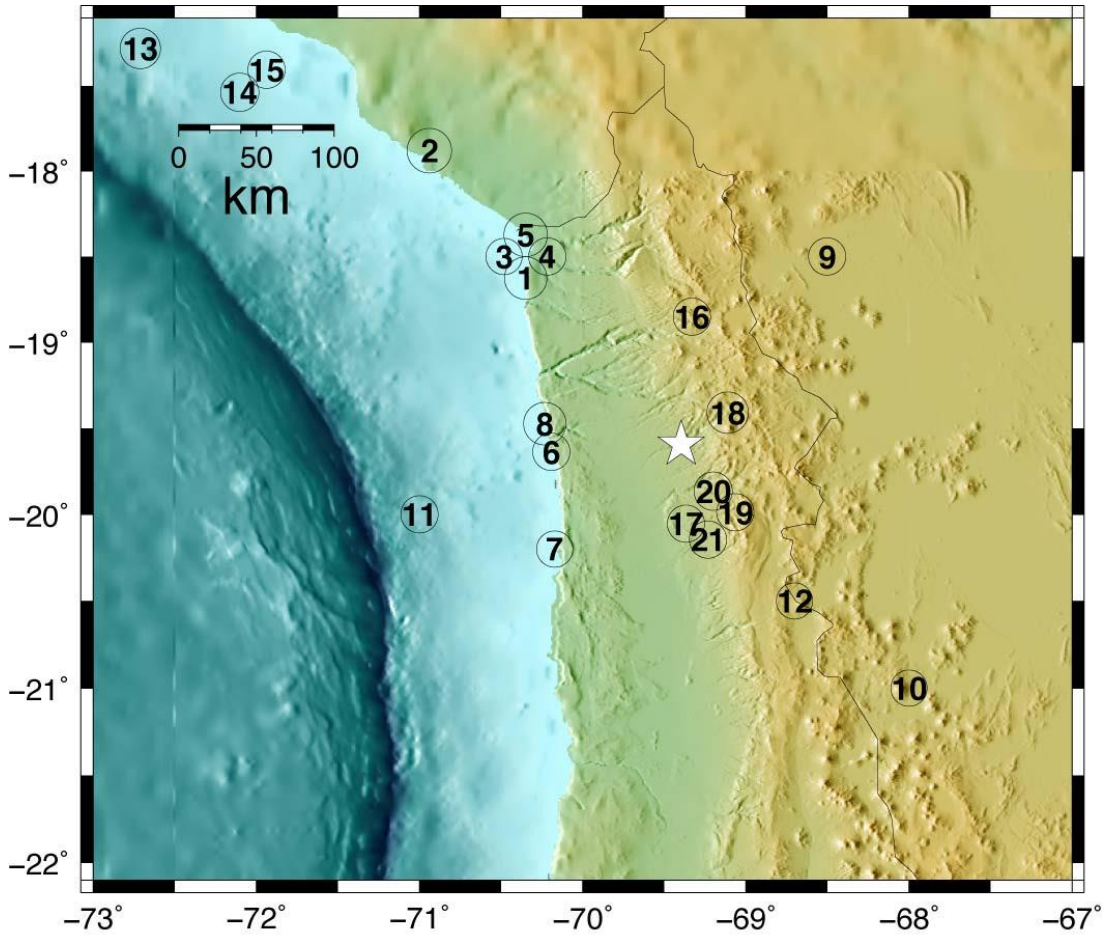
Fuente: Susa, 2004 modificada

En la Figura 6.7.1.3-4 se observan grandes terremotos interplaca tipo thrust, observados a lo largo de la costa de Chile y sur del Perú (modificada de Susa, 2004), donde destacan la secuencia de eventos del lugar en estudio. Las barras verticales representan la estimación del largo de ruptura de cada evento.

Históricamente en la zona Norte de Chile han ocurrido grandes terremotos, los cuales se muestran en la Figura 6.7.1.3-5 y sus datos en el Cuadro 6.7.1.3-1; en caso de no disponer de información de la profundidad, se ha omitido este valor.

**FIGURA 6.7.1.3-5**

**MAPA TOPOGRÁFICO CON LOS EVENTOS HISTÓRICOS DE MAGNITUD SUPERIOR A 7,5 OCURRIDOS EN LA ZONA**




Fuente: Elaboración especialista sísmico

En la Figura anterior el tamaño es proporcional a la magnitud y los números corresponden al terremoto detallado en el Cuadro 6.7.1.3-1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 6.7.1.3-1
## DATOS DE TERREMOTOS DE MAGNITUD SUPERIOR A 7,5 OCURRIDOS EN LA ZONA

| Evento | Latitud (ºS) | Longitud (ºW) | Profundidad (km) | Magnitud | Año | Mes | Día |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -70,35 | -18,50 | - | 8,7 | 1604 | 11 | 24 |
| 2 | -70,94 | -17,88 | 80,0 | 9,1 | 1604 | 11 | 24 |
| 3 | -70,35 | -18,50 | - | 7,7 | 1615 | 9 | 16 |
| 4 | -70,35 | -18,50 | - | 7,5 | 1681 | 3 | 10 |
| 5 | -70,35 | -18,50 | - | 8,9 | 1868 | 8 | 13 |
| 6 | -70,23 | -19,60 | - | 7,6 | 1869 | 8 | 24 |
| 7 | -70,17 | -20,20 | - | 7,5 | 1871 | 10 | 5 |
| 8 | -70,23 | -19,60 | - | 8,6 | 1877 | 5 | 10 |
| 9 | -68,50 | -18,50 | 160,0 | 7,6 | 1915 | 6 | 6 |
| 10 | -68,00 | -21,00 | 180,0 | 7,5 | 1916 | 8 | 25 |
| 11 | -71,00 | -20,00 | 40,0 | 7,6 | 1933 | 2 | 23 |
| 12 | -68,70 | -20,50 | 110,0 | 7,5 | 1976 | 11 | 30 |
| 13 | -72,71 | -17,28 | 29,6 | 8,3 | 2001 | 6 | 23 |
| 14 | -72,10 | -17,50 | 33,0 | 7,8 | 2001 | 7 | 7 |
| 15 | -72,07 | -17,41 | 33,0 | 7,6 | 2001 | 7 | 7 |
| 16 | -69,33 | -18,85 | 112,0 | 7,7 | 2005 | 6 | 13 |
| 17 | -69,33 | -20,05 | 114,9 | 7,6 | 2005 | 6 | 13 |
| 18 | -69,11 | -19,41 | 115,0 | 8,0 | 2005 | 6 | 13 |

Fuente: Elaborado por especialista sísmico

De los principales eventos se tienen relatos históricos que dan cuenta del impacto que provocan en la población, los cuales se describen resumidamente a continuación y sus respectivas áreas de ruptura se presentan en la Figura 6.7.1.3-6:

- **Terremoto de 1513:** Montessus de Ballore (1911-1912) asigna una cota inferior para el largo de ruptura de 100 km, lo cual coincide con lo propuesto por Fercovic (1989), quien asigna esta cota de manera que sea compatible con los pocos efectos descritos. Giesecke y Silgado (1981) sostienen que "Por los años 1513 y 1515, ocurrieron grandes sismos, acompañados de formidables deslizamientos de tierras. Por los habitantes indígenas se supo que en la misma época el mar, con sus crecientes y menguantes, sobrepasó muchas veces la habitual línea de la playa". Comte y Pardo (1991) señalan que si bien los antecedentes son escasos, es posible considerar que un evento importante ocurrió con numerosas réplicas y con un probable tsunami asociado, asignándole también un largo mínimo de ruptura de 100 km con un epicentro

aproximado ubicado según el catálogo SISRA-Perú (1985) en los 17,21°S, 72,3°W.

- **Terremoto de 1543:** Montessus de Ballore (1911-1912) dice citando a J.T. Polo: "Tarapacá. Fuerte temblor que impidió a los indios descubrir al encomendero Lucas Martínez Begazo, poblador de Arequipa, la mina del Sol, de plata acendrada que antes explotaban". Greve (1964) citando también a J.T. Polo agrega que el sismo alcanzó hasta el sur del Perú. Comte y Pardo (1991) mencionan que la información disponible indica que este evento no generó un tsunami importante, además basados en la descripción histórica, estiman un largo de ruptura mínimo de 100 km con un epicentro ubicado en los 19.0°S, 70.5°W según el catálogo SISRA-Chile (1985). La gran falta de documentación referente a este sismo hace muy difícil establecer con seguridad la extensión del área de ruptura asociada a él, por otra parte tampoco existe información concluyente con respecto a la ocurrencia de un tsunami asociado.

- **Terremoto del 22 de Enero de 1582**: Montessus de Ballore (1911-1912) primero cita a Polo, quien señala que en la ciudad de Arequipa "cayeron más de 300 y varios templos, y perecieron más de 30 personas sepultadas entre los escombros, las que Botero Berres hace llegar apenas a 22. Fue el estremecimiento de tierra sin ruido alguno; las acequias derramaron sus aguas por toda la ciudad; las tinieblas y polvo sofocaban y bajaban aturdidos de la sierra vicuñas, venados, guanacos y raposas. Siguiose después una hambruna terrible". Luego, Montessus de Ballore (1911-1912) se refiere Fray Diego de Mendoza, mencionando "Hubo tan gran terremoto en la ciudad de Arequipa que asoló a toda la ciudad". Dorbath et al. (1990) describe que la Iglesia de Socobaya fue destruida hasta sus fundaciones. Por otra parte se dice que Tacna, Moquegua y Arica no parecieran haber experimentado mayores daños. Además, ellos mencionan que si bien no hubo reportes de daños producidos por un tsunami, si menciona un reporte de que el mar retrocedió en Islay. Finalmente se presenta una figura del área de ruptura estimada según isosistas de intensidad VIII, obteniendo un largo de ruptura que se extiende desde los 16,5°S hasta los 17°S (80 km). Comte y Pardo (1991) señalan que no hay información referente a un tsunami asociado, además recalculan el largo de ruptura utilizando un valor Ms(I)=7,9 obteniendo un nuevo largo de 137 km, con un epicentro ubicado en los 16,6°S y los 17,6°W.

- **Terremoto del 24 de Noviembre de 1604:** Montessus de Ballore (1911-1912) dice: "Con excepción del convento de San Francisco, que salvó por su


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

excelente construcción de cal y canto, Arequipa quedó completamente arruinada. Los pormenores precisos que se encuentran en el Diario de Girardi sobre los estragos y fenómenos producidos en esta ciudad y sus alrededores, polvareda debido a la caída de los edificios, numerosas víctimas, perturbaciones en el curso de los ríos y en los manantiales de agua, prueban que se trató de una gran catástrofe; pero no debe creerse en la exactitud de este documento cuando relata que ni una montaña, ni una selva, ni un río, ni una ciudad, ni una aldea escaparon al desastre en una extensión de 300 a 400 leguas de costa y de 70 hacia el interior; es ésta una exageración evidente, que no debe entenderse del área sacudida pero sí de la longitud de costas en que se manifestó el maremoto. La ruina de Arica parece haber sido gravísima, cayéndose muchas de sus casas y habiendo sido seriamente dañados los principales edificios públicos, las iglesias, el hospital, los conventos, y sobre todo el establecimiento real en donde se guardaba y beneficiaba el azogue. Tacna sufrió también mucho y los estragos se extendieron en veinte leguas a la redonda y hasta la Puna, es decir la parte montañosa del corregimiento de Arica. No hubo víctimas, de donde debe deducirse que la ola sísmica no ha sido tan considerable como lo fue el mismo fenómeno en este puerto en ocasión de otros terremotos". Lomnitz (1971) señala que hasta donde es posible saberlo, los efectos de este sismo fueron similares al gran terremoto de Arica del 13 de Agosto de 1868. Comte y Pardo (1991), por su parte recalculan el largo de ruptura utilizando la distribución de intensidades la posición del terremoto obteniendo un largo de 415 km.

- **Terremoto del 16 de Septiembre de 1615**: Montessus de Ballore (1911-1912) menciona que este importantísimo evento sísmico era completamente desconocido cuando don Vicente Dagnino lo exhumó del archivo inédito de Arica. A continuación presenta un resumen del documento cuya copia se encuentra reproducida a continuación. "La ruina de Arica parece haber sido gravísima, cayéndose muchas de sus casas y habiendo sido seriamente dañados los principales edificios públicos, las iglesias, el hospital, los conventos, y sobre todo el establecimiento real en donde se guardaba y beneficiaba el azogue. Tacna sufrió también mucho y los estragos se extendieron en veinte leguas a la redonda y hasta la Puna, es decir la parte montañosa del corregimiento de Arica. No hubo víctimas, de donde debe deducirse que la ola sísmica no ha sido tan considerable como lo fue el mismo fenómeno en este puerto en ocasión de otros terremotos. El 23 del mismo mes no habían cesado las sacudidas consecutivas". Lomnitz (1971), señala que los daños se extendieron al interior y en el norte hasta Tacna, pero menciona que se carece de informes respecto a Arequipa. Además juzga que la información existente no afirma que el sismo hubiera sido seguido por un tsunami. Se


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

calcula el largo de ruptura asociado utilizando un valor de MS(I)=7,9 obteniendo un largo de 137 km con un epicentro ubicado en los 19,5°S, 70,5°W, añadiendo que este valor explicaría el tsunami generado, el daño generado en Arica y Tacna y el hecho de que no hubiese reportes de daño al norte de Arica, considerando que el catálogo de intensidad peruano es bastante completo.

- **Terremoto del 20 de Octubre de 1687:** Este evento en particular se divide en realidad en 2 sismos ocurridos con un par de horas de diferencia en la zona centro sur del Perú, más un tercer evento ocurrido al día siguiente que afectó la zona sur de ese país. Montessus de Ballore (1911-1912) menciona que el área de destrucción de este terremoto del centro y norte del Perú se habría extendido hasta la ciudad de Arequipa, citando a Ventura Travada dice "Este monasterio (de Santa Catalina de Sena) se arruinó del todo en el gran terremoto de 1687". Dorbath et al. (1990) explican que este evento se divide en 2 sismos que sucedieron con un día de diferencia para el sismo que afectó la zona sur del Perú describe que Arequipa fue destruido, particularmente en los valles de Majes, Vitor y Sihuas. Se menciona una carta del Duque de la Palata al rey de España en donde se dice que Arica fue destruida, pero esta información no aparece en ningún otro documento. Finalmente se señala que el largo de ruptura se encuentra pobremente definido debido a que el sismo principal en Lima captó demasiada atención y lo estima aproximadamente entre 100 y 150 km centrado sobre los 17°S y se presenta una figura del área de ruptura estimada. También se describe la ocurrencia de un tsunami asociado al menos primero de los sismos.

- **Terremoto del 22 de Agosto de 1715**: Montessus de Ballore (1911-1912) escribe citando a Barbinais Le Gentil. "Algunos días después de mi llegada a Arica, hubo un temblor tan extraordinario, que se hizo sentir hasta doscientas leguas a la redonda. Arica, Ilo, Cobija, Arequipa, Tacna, Moquegua (40 leguas hacia las montañas) y otras ciudades y poblaciones se derribaron; las montañas se derrumbaron y se juntaron; hundiéndose las aldeas ubicadas sobre las colinas o sea en los valles. Este desorden duró dos meses con intervalos; las sacudidas eran tan violentas que la gente no podía mantenerse en pie. Sin embargo, por ser construidas las casas con cañas y barro liviano, perecieron pocas personas debajo de los escombros. Durante un mes tuvimos que vivir en campo raso y debajo de las tiendas...". Dorbath et al. (1990) señalan que el largo de ruptura se encuentra entre los 50 y 100 km calculados de acuerdo a la magnitud inferida por Lomnitz (1971) la cual podría estar levemente subestimada. Comte y Pardo (1991) indican reportes de un


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

pequeño tsunami asociado al sismo y utilizando un MS(I)=7,8 calculan un largo de ruptura de 120 km.

- **Terremoto anterior a 1768:** Según Montessus de Ballore (1911-1912) este es un terremoto al cual no se le puede asignar una fecha con exactitud. A partir de la información se desprende que se trata de un sismo de la provincia de Tarapacá, el cual sucedió algunos años antes de 1768, que no se trataría del desastre de Lima y del Callao del 28 de Octubre de 1764. En cuanto al sismo de Arequipa de 1738 sería demasiado dudoso para atribuirles los estragos, además que no se encuentra mención a este sismo en el archivo de Arica. Comte y Pardo (1991) señalan que en el tiempo en que ocurrió este sismo, las poblaciones más importantes ubicadas en la zona eran nativas, y que se localizaban lejanas a la costa debido a la escasez de agua. Se dice que si este sismo es considerado un evento interplaca la latitud debiera estar cercana a los 20,5°S con un límite inferior del largo de ruptura de 100 km.

- **Terremoto del 13 de *Mayo de 1784*:** Montessus de Ballore (1911-1912) escribe citando a Zámacola "…los daños producidos en Arequipa que sufrió una verdadera catástrofe. Es menos prolija en lo tocante a los efectos del terremoto de Moquegua, cuya ruina fue menor. El desastre se extendió hasta Chuquibamba, y al valle de los Majes, donde padecieron mucho los pueblos de Vitor, Sihuas y Uchumayo, lo mismo que el de Caraveli situado más al oeste". Montessus de Ballore (1911-1912), escribe además: "Según diversos documentos administrativos recopilados por el doctor don Vicente Dagnino del archivo inédito de Arica, resulta que no hubo perturbación alguna en la vida pública del pueblo, de donde puede deducirse la poca gravedad del fenómeno sísmico en la comarca. Según Zámacola el viernes Santo, o sea el 9 de Abril, Arica hubiera sufrido un "gran terremoto". No vacilamos en creer que esta fecha es errónea y que el dato debe aplicarse al 13 de mayo. Se trata de decirles que sin duda habrán sido exagerados". Dorbath et al. (1990) mencionan daños en el valle de Tambo y Moquegua y describe que Camaná pareciera ser la ciudad mayormente afectada de la región y describe los efectos del tsunami asociado. Finalmente y de acuerdo a la información de daños provocados por el sismo y por el tsunami, considera que este evento es mayor que el de 1582 y estima el largo de ruptura entre los 16°S y los 18°S presentando una figura del área de ruptura estimada. Comte y Pardo (1991) recalculan el largo de ruptura utilizando información de las isosistas obteniendo una valor de 390 km.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Terremoto del 3 de Julio de 1836:** Montessus de Ballore (1911-1912) escribe lo siguiente: "Cobija. Temblor y maremoto. A la hora indicada temblor. A media noche un oleaje bastante fuerte se hizo sentir en el surjidero, reventando el mar fuertemente contra las rocas de la bahía. El fenómeno aumentó gradualmente; hacia las VII, se hizo más fuerte y revienta con violencia contra la playa, sin que se aumente la brisa. Esta marejada ha sido atribuida por los habitantes a un terremoto cuya sacudida se hizo sentir con cierta fuerza en tierra, a VIII.30 poco más o menos". Comte y Pardo (1991) mencionan un posible tsunami y utilizando un valor de Ms(I)=7.5 calculan un largo de ruptura igual a 44 km con epicentro ubicado en los 22,5°S, 70,3°W de acuerdo con Lockridge (1985).

- **Terremoto del 13 de Agosto de 1868:** Montessus de Ballore (1911-1912) presenta la siguiente información con respecto a este sismo: "Las ciudades de Arequipa y Moquegua han sido asoladas en alto grado, las víctimas numerosísimas y las pérdidas materiales enormes. No existiendo entonces otras poblaciones importantes en la comarca, los pocos pormenores relativos a pequeñas poblaciones resultaron tan vagos que no se pueden fijar con mayor precisión los límites del área damnificada. Afuera de los alrededores inmediatos a Arequipa hacia el este debe pensarse que a lo menos Ilabaya, no muy lejos de Moquegua, pertenece al área pleistosista, lo mismo que Islay, siendo por otra parte bien cierto que no alcanzó Tacna". Ramírez (1988), dentro de su trabajo, entrega un extenso estudio de los parámetros focales, en particular estudia los daños ocasionados por el evento, los cuales recopila a partir de diversas fuentes, de tal manera establece el mapa de isosistas asociado a este terremoto con el cual estima un área epicentral que se extiende desde los 16°S hasta los 20,2°S. Dorbath et al. (1990) por su parte describen que todos los pueblos entre Acari y la latitud 19°S fueron casi enteramente destruidos (Caraveli, Cotahuasi, Arequipa, Camaná, Moquegua, Arica, etc). También se reporta daño en Nazca e Ica, más daños menores en Chincha. Además describe los efectos del tsunami asociado. Finalmente se evalúa el largo de ruptura entre los 15,5°S y los 19°S y se presenta una figura del área de ruptura estimada. Comte y Pardo (1991) confirman la ocurrencia de un gran tsunami, además utilizando la información de isosistas obtienen un largo de ruptura de 500 km.

- **Terremoto del 24 de Agosto de 1869:** En Montessus de Ballore (1911-1912), se presenta muy poca información, la cual se transcribe a continuación: "24. XIII. Ca. Gran temblor del norte de Chile y del sur del Perú"." "24. XIII. 24. Tacna. Sacudida ligera. En el océano, a bordo del vapor Payta, nuevas

sacudidas en el intervalo de algunos segundos. Arequipa. Dos sacudidas. Tacna. Cinco sacudidas. Santiago. Temblor. Copiapó. Temblor". Comte y Pardo (1991), confirman los reportes de tsunami asociado y señalan que el sismo se sintió desde Arequipa hasta Coquimbo, pero que la mayor parte del daño ocurrió en Iquique y Pica. Además basándose en los efectos macrosísmicos reportados estiman un largo de ruptura igual a 67 km con epicentro ubicado en los 19,6°S, 70,23°W de acuerdo a el catálogo SISRA- Chile (1985).

- **Terremoto del 4 de Octubre de 1871:** En Montessus de Ballore (1911-1912), la información con respecto a este terremoto se encuentra extremadamente resumida, lo cual dificulta su buena interpretación debido a que se omite detalles que pudiesen ser relevantes para la inferencia de intensidades a continuación se transcribe lo allí expuesto. "Arequipa, Temblor. Copiapó, Temblor suave. Iquique temblor terrible. Vertical en el principio y después ondulatorio; muchas casas derribadas. Pica y Matilla sufrieron mucho. En Tarapacá la iglesia y más de 100 casas fueron destruidas. El fenómeno fue ligero en Lima y sentido como maremoto en Callao, pero sin invasión del mar. Arequipa, temblor fortísimo sin ruido. En el océano. 20o 14' S. 71o 31'W. Temblor submarino. Tacna. Temblor violentísimo. Sentido en Tarapacá, Mamiña, Pisco, Matilla, Sibaya, Chione, Usmagana, Limacina, Pochica, Purca. Entre I y II. En el Océano. 20o 35` S. 71o 7` W. Temblor submarino. La tripulación creyó que el buque varaba o que las cadenas del ancla rozaban contra una roca. El movimiento principio vertical y concluyó ondulatorio". Comte y Pardo (1991) confirman la ocurrencia de un tsunami asociado mencionando a Lockridge (1985), además se utiliza un valor de Ms(I)=7.4 para obtener un largo de ruptura igual a 67 km.

- **Terremoto del 9 de Mayo de 1877:** Montessus de Ballore (1911-1912) realiza un análisis muy extenso de este sismo, del cual se extrae la información más relevante: "…este gran terremoto se produjo a lo largo de una línea muy extensa, situada en el interior del continente y algo oblicua respecto a la cordillera de los Andes que atravesó al sur del Tacora. En Calama, la mitad de las casas fueron destruidas, sin desgracias personales, pero sí con pérdidas de ganados aplastados. Las demás casas fueron tan rajadas que sólo dos o tres quedaron habitables. En Tarapacá y las poblaciones Pica, Matilla y Canchones, fueron más o menos dañadas por el terremoto. Tirana. La catástrofe del 9 de Mayo tuvo lugar a las XX y media y principio con dos sacudidas verticales seguidas por un movimiento ondulatorio que, acompañado por fuerte ruido iba creciendo proporcionalmente de fuerza, hasta derrumbar los edificios. Duró seis minutos. Por dicha no hubo víctimas que lamentar, pero si algunos

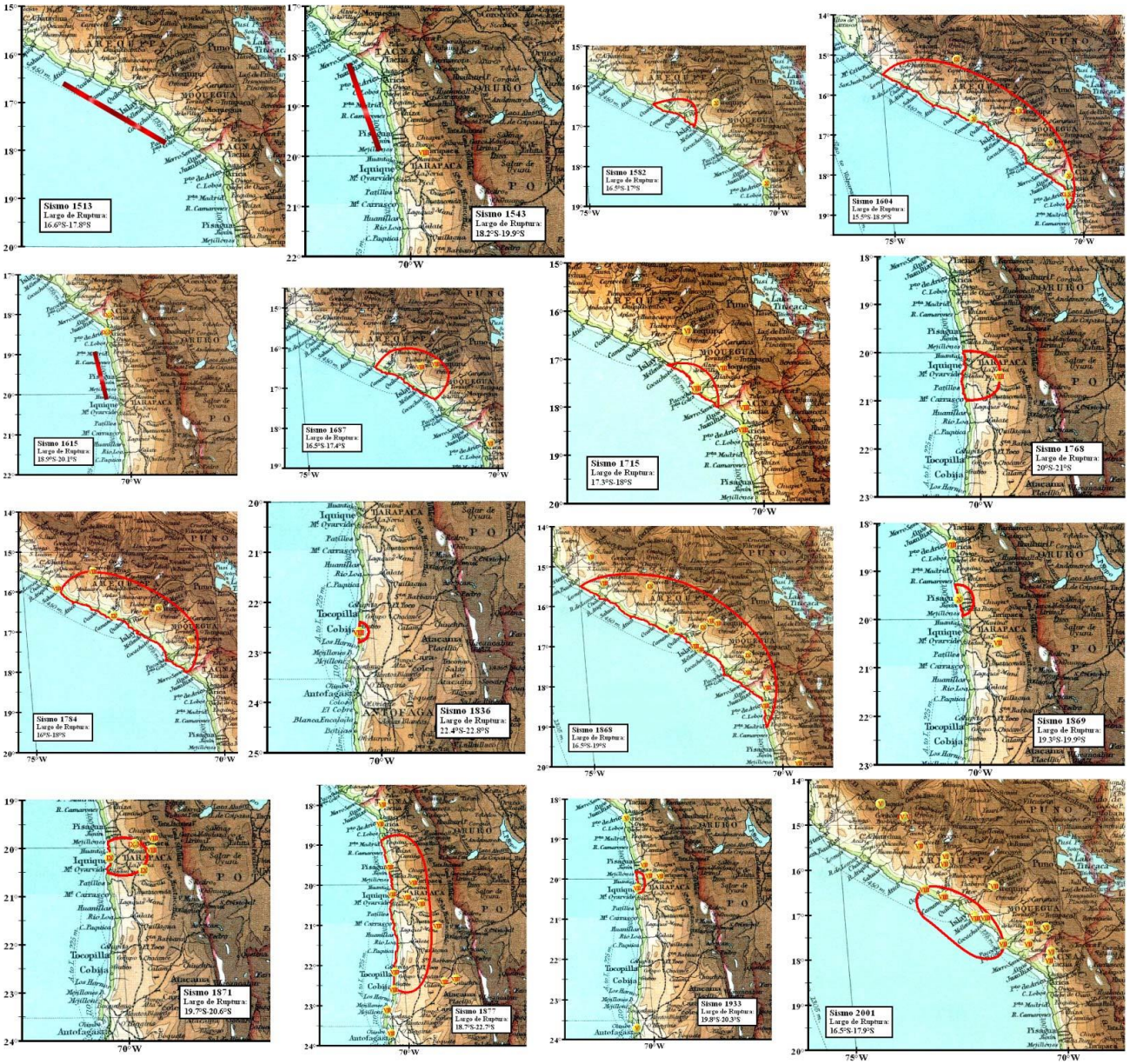
contusos a consecuencia de la caída de escombros y se debió esto a la lentitud con que creció el fenómeno, permitiendo a la gente huir fácilmente. Así y aun en el caso de que se aceptasen las exageraciones evidentes de las noticias recogidas, la zona del desastre sísmico, que no lo hubo en el verdadero sentido de la palabra, pero sí de los daños de consideración, se extendió en el interior desde Chiu-Chiu, al sur de Tarapacá, hacia el norte, o sea abarcó una longitud meridiana de unos 250 kilómetros. Ramírez (1988) hace además una estimación del largo de ruptura a partir de las magnitudes asociadas a él obteniendo un largo de ruptura estimado inferior a 400 km. Comte y Pardo (1991), confirman la ocurrencia de un tsunami asociado, además utilizando la información de isosistas de grado VIII estiman un largo de ruptura igual a 420 km. Delouis et al. (1997) como parte de su estudio del sismo de 1995 una presenta un mapa en donde se resumen los sismos mayores ocurridos recientemente en la zona comprendida aproximadamente entre los 19°S y los 26°S en donde se puede apreciar el área de ruptura del terremoto de 1877 entre otros.

- **Terremoto del 23 de Febrero de 1933:** Comte y Pardo (1991) señalan de acuerdo el Boletín del Servicio Sismológico de la Universidad de Chile que este sismo afectó principalmente la ciudad de Iquique, y que fue sentido desde Arica a Vallenar, igual información es entregada por Greve (1964). Además confirman un pequeño tsunami haciendo referencia a Lockridge (1985). Con respecto al largo de ruptura, Comte y Pardo (1991) utilizando un valor de MS(I)=7.5 calculan un largo igual 77 km con epicentro ubicado en los 20.0°S, 71.0°W de acuerdo al catálogo SISRA-Chile (1985). Delouis et al. (1997) como parte de su estudio del sismo de 1995 una presenta un mapa en donde se resumen los sismos mayores ocurridos recientemente en la zona comprendida aproximadamente entre los 19°S y los 26°S en donde se puede apreciar el área de ruptura del terremoto de 1933 entre otros.

- **Terremoto del 23 de Junio de 2001:** Tavera et al. (2002) presentan un resumen de intensidades registradas en las localidades afectadas por el sismo, donde se destaca que en Ocoña, Cocachacra, Camaná, Mollendo, El Arenal y Punta de Bombón se alcanzaron los VIII grados de intensidad en la escala de Mercalli Modificada. Tavera y Bernal (2002) presentan un estudio de diversas áreas de ruptura asociada a eventos ocurridos en la región del Perú, haciendo un especial énfasis en la definición del área que define al sismo del año 2001.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 6.7.1.3-6
## MAPAS CON LAS ÁREAS DE RUPTURA DE LOS PRINCIPALES EVENTOS OCURRIDOS EN LA ZONA DE ESTUDIOS




Fuente: (tomadas de Susa, 2004)


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## 6.7.1.4. Reseña metodológica

La metodología que se empleará en este trabajo considera un análisis del marco sismogénico general de la zona en estudio, incluyendo información histórica sobre la localización, magnitud y mecanismo focal de la sismicidad. Ello permitirá definir las principales fuentes sismogénicas presentes en el lugar, al igual que la caracterización de cada una de ellas. También se presentan datos instrumentales registrados, permitiendo su análisis y descripción de modo de poder obtener una buena caracterización de ellos.
Parte importante de la descripción de las fuentes sismogénicas es la caracterización de su productividad sísmica mediante la ley de Gutenberg-Richter (Gutenberg & Richter, 1944). Otro aspecto relevante es determinar el máximo terremoto creíble mediante el análisis de la sismicidad histórica.
A través del estudio de los registros de terremotos en la zona de interés se podrá definir una ley de atenuación que ligue una cierta magnitud con una aceleración horizontal máxima a observar, considerando la pérdida de energía con la distancia. Estas relaciones se denominan leyes de atenuación.
Utilizando estos antecedentes se procederá a la estimación del peligro sísmico mediante el uso de las técnicas probabilística y determinística. La primera se basa en el trabajo de Cornell (1968), mediante las aproximaciones hechas por Algermissen & Perkins (1976) y Algermissen y otros (1992), al igual que Anderson & Trifunac (1978). En general, las fuentes sismogénicas serán consideradas homogéneas, teniendo cada una de las subfuentes que la componen las mismas propiedades, supuesto usual en este tipo de estudios (Barrientos, 1980; Algermissen y otros, 1992; Leyton y otros, 2009, 2010).
Acto seguido, se prosigue con la metodología determinística considerando el escenario más extremo para cada tipo de fuente, permitiendo determinar la aceleración horizontal máxima producto de él.

### 6.7.2. Marco Sismogénico General

A continuación se presenta el marco sismogénico general, típico del contacto de la placa de Nazca (de origen oceánico) con la placa Sudamericana (de origen continental), donde la primera subducta bajo la segunda. Este análisis permitirá definir conjuntos de eventos con características comunes, denominados como fuentes sismogénicas. Posteriormente, se procederá a analizar la sismicidad histórica, de manera de poder definir aquellos parámetros necesarios en la estimación del peligro sísmico probabilístico, tales como la productividad sísmica, terremoto máximo creíble y las leyes de atenuación.

## 6.7.2.1. Ambiente Sismogénico

En la Figura 6.7.1.2-3 se presentó un corte con la sismicidad registrada por la red internacional, con magnitudes superiores a 4,0. Como se mencionó anteriormente, este perfil de sismicidad es característico de las zonas de subducción, generando los tres tipos de fuentes sismogénicas principales a detallar más adelante. La subducción de la placa de Nazca


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

bajo la placa Sudamericana posee dos características distintivas: una alta velocidad de convergencia (alrededor de 6-7 cm/año) y una joven placa subductada (del orden de 35 Ma en la zona central). Estos aspectos producen un alto nivel de acoplamiento mecánico en la zona de contacto, permitiendo la acumulación de grandes niveles de energía que ocasionan grandes terremotos. En la zona de estudio, el contacto entre ambas placas se extiende hasta alrededor de los 50 km de profundidad (Tichelaar & Ruff, 1993; Suárez & Comte, 1993; Belmonte-Pool, 1997; Khazaradze & Klotz, 2003; Tassara et al, 2006).

El movimiento convergente de las placas de Nazca y Sudamericana produce una acumulación de esfuerzos en la zona de contacto los cuales son liberados en forma de terremotos. Es posible ver en la Figura 6.7.1.2-3 como un grupo importante de eventos se localizan en el contacto entre las dos placas; estos eventos sísmicos son denominados como interplaca o thrust. Además, se aprecia una gran cantidad de eventos que ocurren al interior de la placa de Nazca, lejos del contacto, a profundidades superiores a 50 km; a este conjunto de eventos se les conoce como intraplaca de profundidad intermedia. En la Figura 6.7.1.2-3 también es posible observar, en mucho menor medida, sismos superficiales en la placa Sudamericana, cerca de la Cordillera de Los Andes, correspondiendo a sismos corticales.

## 6.7.2.2. Determinación de las Fuentes Sísmicas

De la sección anterior se infiere que existen tres fuentes sismogénicas, las cuales poseen características comunes; ellos son: interplaca tipo thrust, intraplaca de profundidad intermedia y cortical. Tal como se mencionó, dado que esta última fuente sismogénica cuenta con información suficiente como para incluirla en el estudio probabilístico, se procederá a su análisis a continuación. Considerando esta división, es posible clasificar cada uno de los eventos que ocurren en la zona, mostrados en la Figura 6.7.2.2-1. El área de influencia en la zona se determinó como dos grados al Norte y al Sur del lugar de estudio, extendiéndose en la dirección Oeste un ancho necesario de manera de incluir todos los eventos del tipo interplaca tipo thrust y hacia el Este los eventos intraplaca de profundidad intermedia (ambos en longitud).

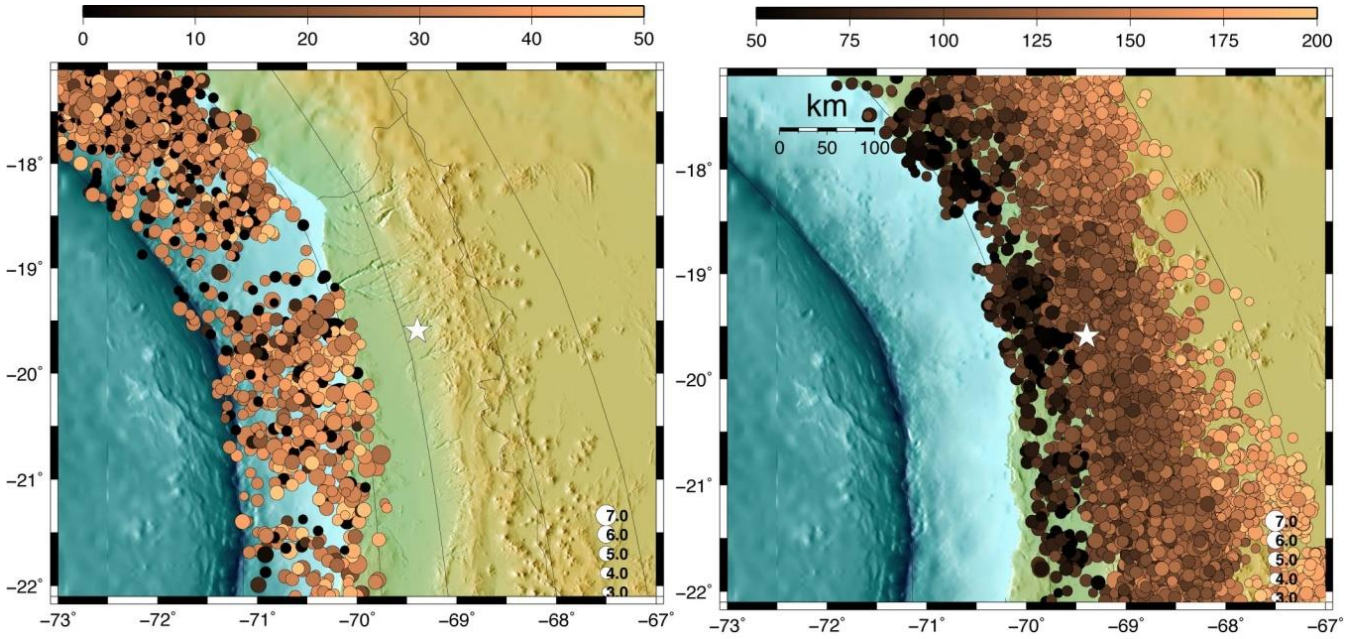
En la Figura 6.7.2.2-1 cada punto representa un sismo, siendo el tamaño proporcional a su magnitud (ver escala en el borde inferior derecho); el color es proporcional a la profundidad, en km, del evento según la escala del borde superior. La estrella marca la posición del proyecto en estudio y las líneas representan la posición del borde superior la placa de Nazca a 0, 50, 100, 150 y 200 km de profundidad, de izquierda a derecha, respectivamente.

Cabe destacar que esta base de datos debe ser limpiada para eliminar los eventos que son réplicas de sismos mayores. Ello permite cumplir con el principio de independencia de los eventos, supuesto básico en un modelo de Poisson, requerimiento esencial del análisis de peligro probabilístico desarrollado por Cornell (1968), Algermissen y Perkins (1976) y Anderson y Trifunac (1978). Para ello se siguió la metodología definida por Reasenberg (1985), debidamente adaptada al caso chileno (Leyton et al., 2009). Ello cobra especial relevancia en el cálculo de las leyes de productividad sísmica, como se verá más adelante.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.7.2.2-1**

**SISMICIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO DE LA FUENTE INTERPLACA TIPO THRUST (IZQUIERDA) E INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA (DERECHA)**




Fuente: Elaboración especialista sísmico

A continuación se presenta la definición de los dos tipos de fuentes sismogénicas antes mencionados. Ellas serán descritas mediante subfuentes puntuales, que al ser sumadas, generan el efecto del total de cada una de las fuentes sismogénicas; de esta manera, es posible describir cualquier tipo de geometría, por muy complejas que éstas sean.

- **Sismos Interplaca o Thrust**

Corresponden a aquellos eventos que se producen en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana (ver Figura 6.7.1.2-3). Se extienden desde la fosa hasta unos 50 km de profundidad, límite máximo del contacto en la zona de estudio (Tichelaar & Ruff, 1993; Suárez & Comte, 1993; Belmonte-Pool, 1997; Kharadzade & Klotz, 2003). Este tipo de eventos alcanzan grandes magnitudes, usualmente usándose la máxima magnitud creíble de 8,5 (Martin, 1990; Romanoff, 1999; Leyton y otros, 2010), pero, considerando la ocurrencia del gran terremoto del 27 de febrero de 2010, en el presente estudio se decidió aumentar la magnitud máxima a M=8,8. En la Figura 6.7.2.2-2 se presenta un mapa con las subfuentes puntuales que la componen la fuente interplaca tipo thrust.

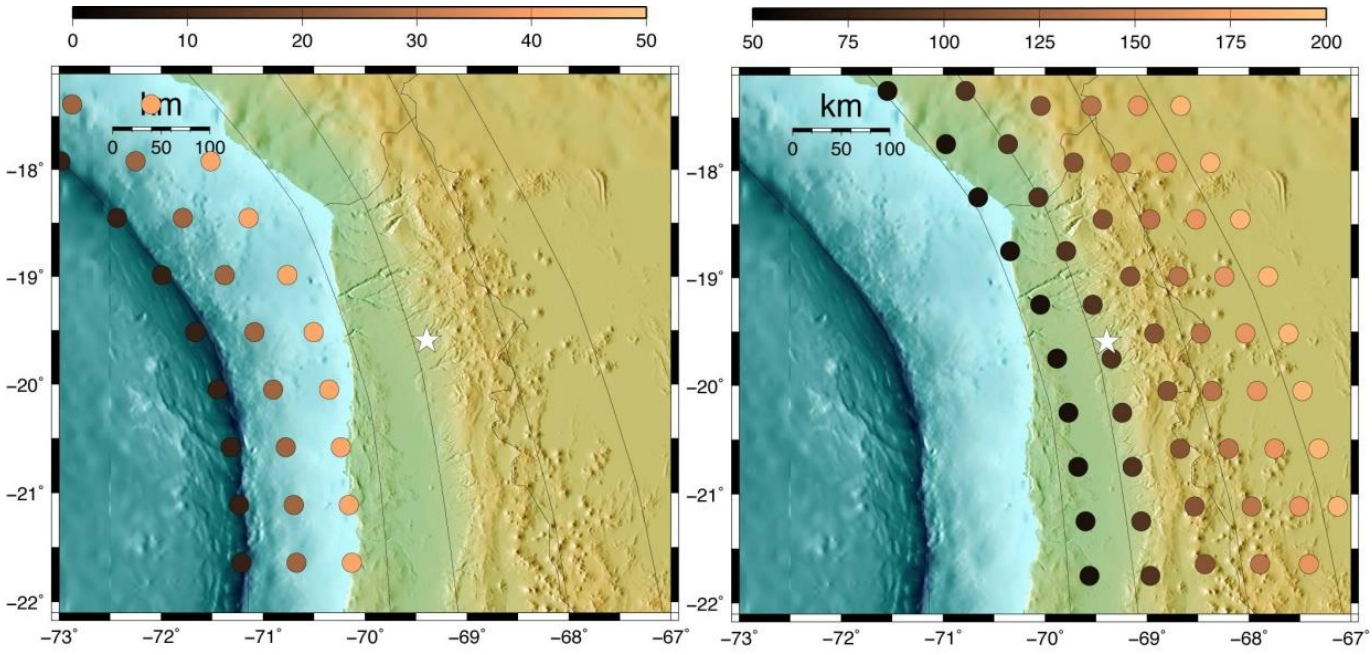

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Sismos Intraplaca de Profundidad Intermedia**

Esta fuente está compuesta por sismos que ocurren dentro de la placa de Nazca, después de la zona de contacto; ellos poseen profundidades mayores de 50 km y llegan hasta los 150-200 km. Recientemente, se ha puesto en evidencia que este tipo de eventos poseen notorias diferencias con los de tipo thrust en las características de la fuente (Leyton, 2001; Leyton y otros, 2008b), reflejándose en mayores daños producidos en la zona epicentral (Astroza y otros, 2002) y altas aceleraciones máxima reportadas (Ruiz & Saragoni, 2005). Este tipo de fuente se caracteriza por tener una magnitud máxima creíble de M=8,0 (Martin, 1990; Romanoff, 1999; Leyton y otros, 2010); la Figura 6.7.2.2-2 muestra las subfuentes que componen esta fuente.

**FIGURA 6.7.2.2-2**

**MAPA TOPOGRÁFICO CON LOCALIZACIÓN DE LAS SUBFUENTES (CÍRCULOS) QUE COMPONEN LA FUENTE SISMOGÉNICA DE TIPO INTERPLACA O THRUST (IZQUIERDA) E INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA (DERECHA)**




Fuente: Elaboración especialista sísmico

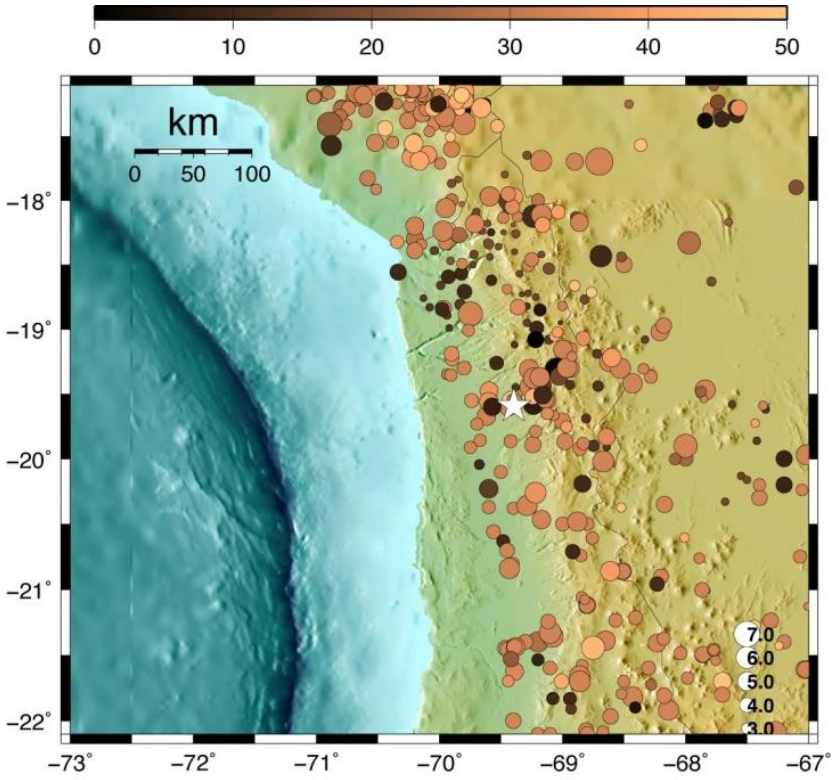
En la Figura 6.7.2.2-2 el color es proporcional a la profundidad, en km, según la escala que se muestra en el borde superior; la estrella blanca marca la posición del sitio estudiado.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Sismos Corticales**

En la Figura 6.7.2.2-3 se presenta la sismicidad superficial (profundidades menores a 50 km) que se encuentra en la zona del proyecto. De esta Figura es posible verificar que se observa una actividad sísmica superficial difusa, pero significativa en torno al proyecto, por lo que es necesario considerarla en el estudio probabilístico.

**FIGURA 6.7.2.2-3**
**MAPA TOPOGRÁFICO CON LA SISMICIDAD SUPERFICIAL REGIÓN Y MAGNITUD SUPERIOR A 3,0**




Fuente: Elaboración especialista sísmico

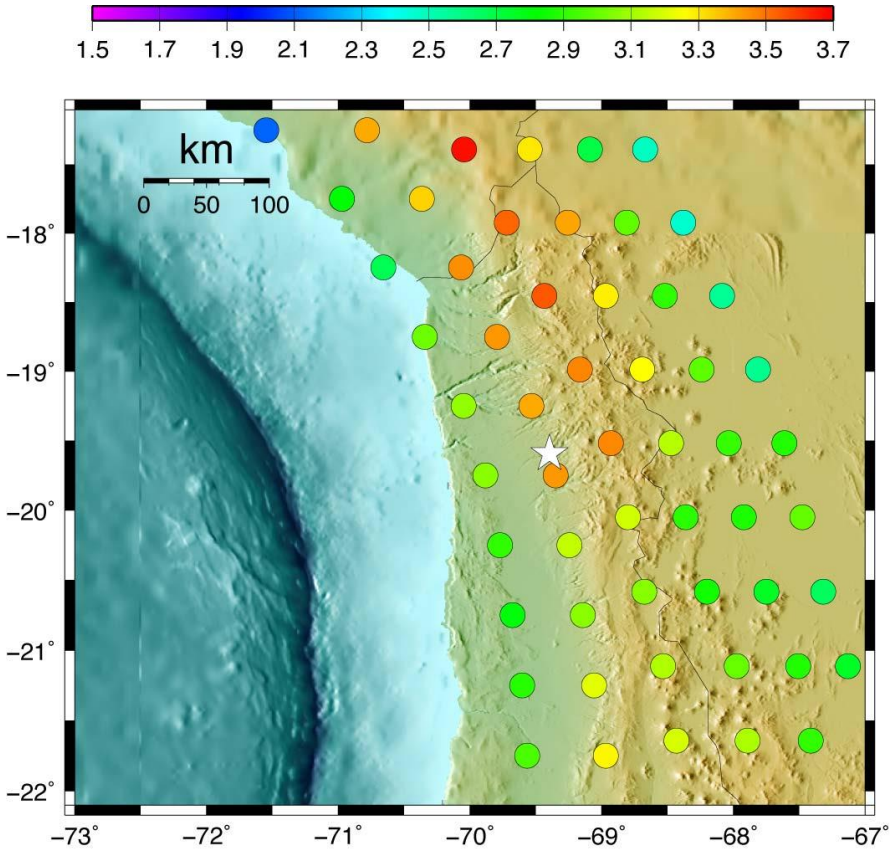
En la Figura 6.7.2.2-3 cada círculo representa un sismo con tamaño proporcional a su magnitud, además la sismicidad regional está considerada para profundidades menores a 50 km (ver escala en borde superior, en km).

La fuente cortical, debido a su naturaleza, no es posible modelarla en forma homogénea, supuesto usual en este tipo de estudios (Algermissen y Perkins, 1976); sino que es necesario utilizar técnicas que den cuenta de su variación, dependiendo de la actividad de las fallas asociadas. Dada la escasa información y la imposibilidad de realizar un estudio detallado de cada una de las fallas que componen la fuente cortical, se usará una fuente distribuida por

toda la zona donde se producen dichos eventos. Cada subfuente que forma parte de la fuente cortical, tendrá características particulares, basadas en la sismicidad (catálogo sísmico) registrada en las cercanías de dicha subfuente (Lapajne y otros, 2003). De esa manera, es posible modelar una fuente no homogénea, pero haciendo uso de la limitada información disponible (Leyton y otros, 2010). La Figura 7.2.2.2-4 muestra las subfuentes utilizadas para representar la fuente cortical en este estudio, donde el color es proporcional a su productividad sísmica (ver detalles en el texto de la figura). La productividad sísmica corresponde al parámetro 'a' de la ley Gutenberg-Richter dada por: log(N) = a - b Ms.

**FIGURA 6.7.2.2-4**

**MAPA TOPOGRÁFICO CON LOCALIZACIÓN DE LAS SUBFUENTES (CÍRCULOS) QUE COMPONEN LA FUENTE SISMOGÉNICA CORTICAL**




Fuente: Elaboración especialista sísmico

En la Figura 6.7.2.2-4 el color es proporcional a la productividad de cada subfuente (parámetro 'a' de la ley de Gutenberg-Richter) según la escala que se muestra en el borde superior. La estrella marca la posición del área de estudio.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## 6.7.2.3. Sismicidad histórica y registros instrumentales

A continuación se presenta una breve reseña histórica de los terremotos más importantes que se han registrado para cada una de las fuentes sismogénicas antes descritas, en torno al sitio estudiado o, en caso de no tenerse registros cercanos, se incluyen datos de los sismos más significativos de otras regiones del país. Estos datos son complementados con datos instrumentales, en caso de disponer de ellos.

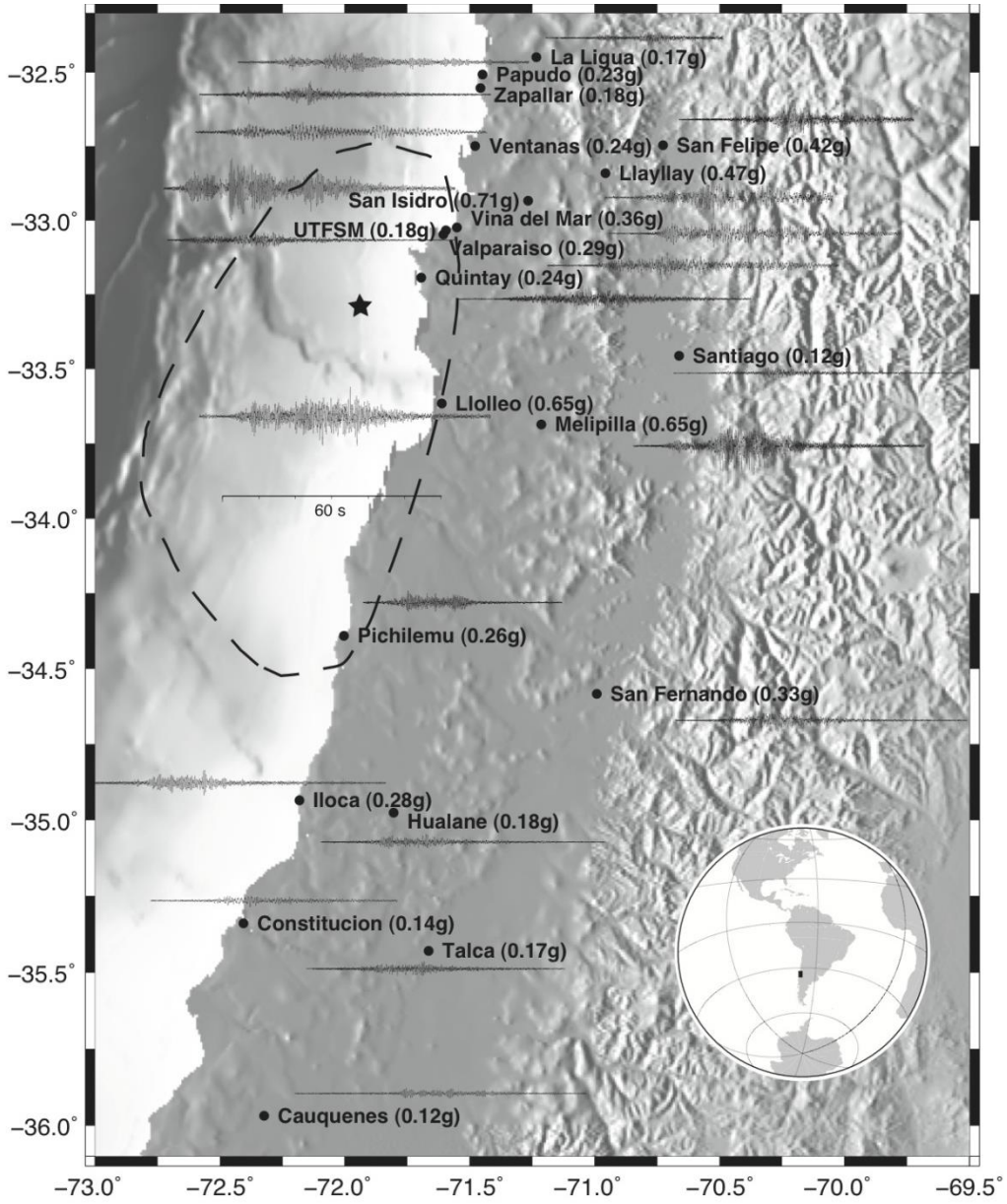
- **Sismos Interplaca tipo Thrust**

Este tipo de terremotos ocurre en el contacto de las placas de Nazca y Sudamericana (Figura 6.7.1.2-3), caracterizándose por producir terremotos de gran magnitud y presentar ubicación costera produciendo, en general, maremotos significativos. De la gran mayoría de ellos no se tiene información instrumental que permita determinar sus características, por lo que, utilizando datos de intensidad de daño, se estiman las áreas de ruptura de estos terremotos (Kausel & Ramírez, 1992). El área de ruptura de los terremotos interplaca tipo thrust corresponde a la zona costera, estando relativamente cercana del lugar de estudio. La ubicación de estos terremotos históricos y la distancia a la que se encuentran de la zona del proyecto es considerada en la definición del terremoto de diseño.
A continuación se presentan los acelerogramas de algunos terremotos de los cuales se tienen registros; uno de los mejores registrados y estudiados corresponde al terremoto de Valparaíso de 1985 (Figura 6.7.1.2-3) y los reportados para Maule 2010 (Figura 6.7.1.2-4), ellos son presentados en términos de la aceleración de gravedad (g).en la Figura 6.7.2.3-1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.7.2.3-1**

**PRINCIPALES ACELEROGRAMAS OBTENIDOS DURANTE EL TERREMOTO DE CHILE CENTRAL DE 1985**




Fuente: Saragoni y otros, 1986

El 27 de febrero de 2010, Chile sufrió uno de los terremotos más grandes de los últimos tiempos (Mw 8,8), afectando desde la V a la VIII región. Este evento fue registrado por una serie de acelerógrafos, tal como se aprecia en la Figura 6.7.2.3-2 (Barrientos, 2010;

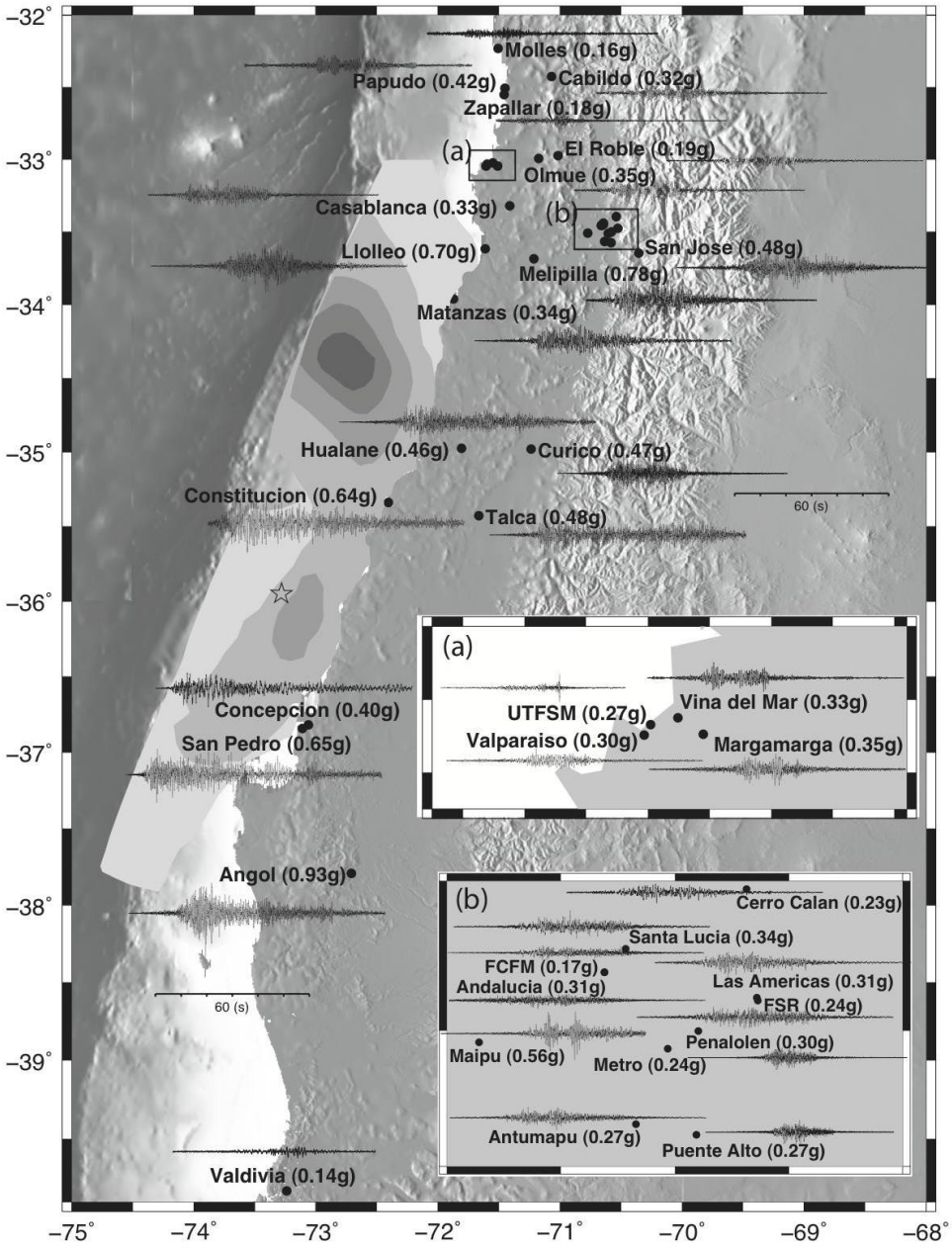

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Boroschek y otros, 2010) de los cuales se presentan algunos registros de los disponibles (ver Figura 6.7.2.3-5).

**FIGURA 6.7.2.3-2**

**MAPA TOPOGRÁFICO CON LAS ESTACIONES QUE REGISTRARON EL TERREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010. SE HA DIBUJO LA TRAJA DE LA COMPONENTE HORIZONTAL CON MAYOR ACELERACIÓN, VALOR MOSTRADO ENTRE PARÉNTESIS**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Barrientos, 2010; Boroschek y otros, 2010

En la Figura las escalas verticales y horizontales de los acelerogramas son las mismas. Se ha incluido un modelo de asperezas desarrollado por Lay y otros (2010).

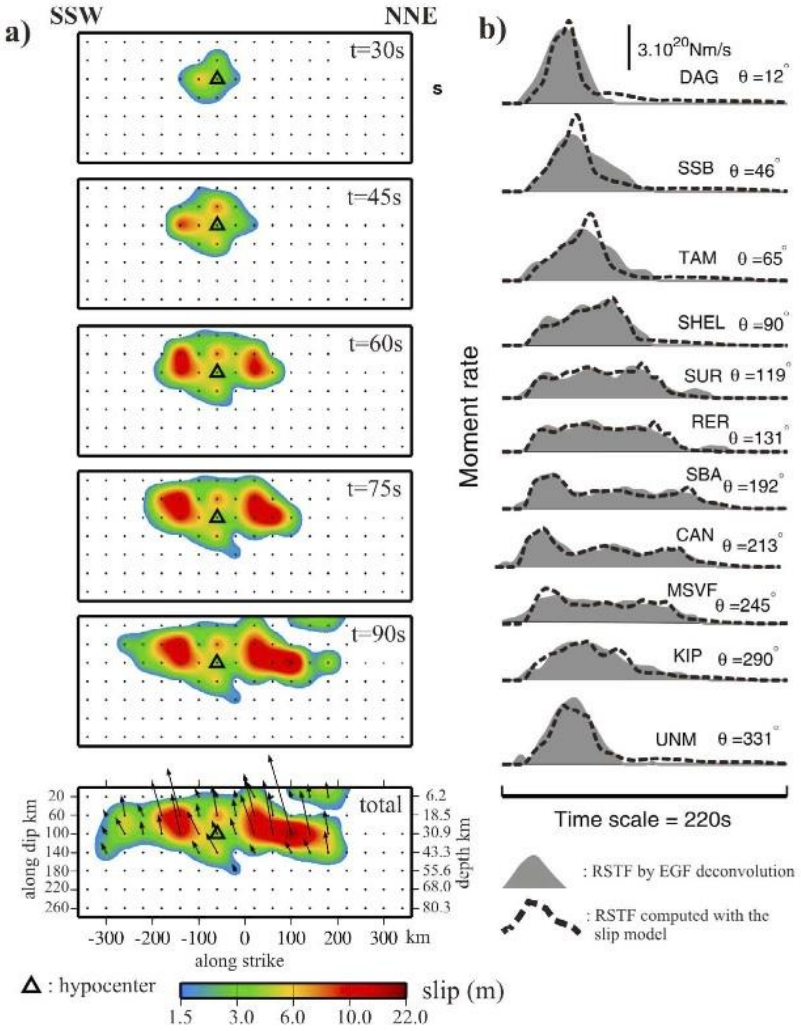
Este evento se caracterizó por presentar 2 zonas de gran liberación de energía o asperezas (Delouis y otros, 2010; Lay y otros, 2010), las cuales se presentan en la Figura 6.7.2.3-3. En los paneles es posible ver: a) cómo se propagó la ruptura, partiendo en las cercanías de Cauquenes y propagándose al norte y al sur, b) presenta la tasa de liberación de momento


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

observada en distintas estaciones, cuyo azimut es marcado en el borde derecho. De esta Figura también es posible ver que el desplazamiento sobre el plano de ruptura superó los 20 m.

**FIGURA 6.7.2.3-3**

**(A) ESQUEMAS CON LA PROPAGACIÓN DE LA RUPTURA EN EL TIEMPO; EL COLOR ES PROPORCIONAL AL DESPLAZAMIENTO SOBRE LA FALLA, SEGÚN ESCALA DEL BORDE INFERIOR. (B) DATOS DE LA TASA DE MOMENTO SÍSMICO LIBERADO, OBSERVADOS Y MODELADOS QUE PERMITIERON LLEGAR A LA SOLUCIÓN PRESENTADA.**




Fuente: Figura tomada de Delouis y otros (2010)

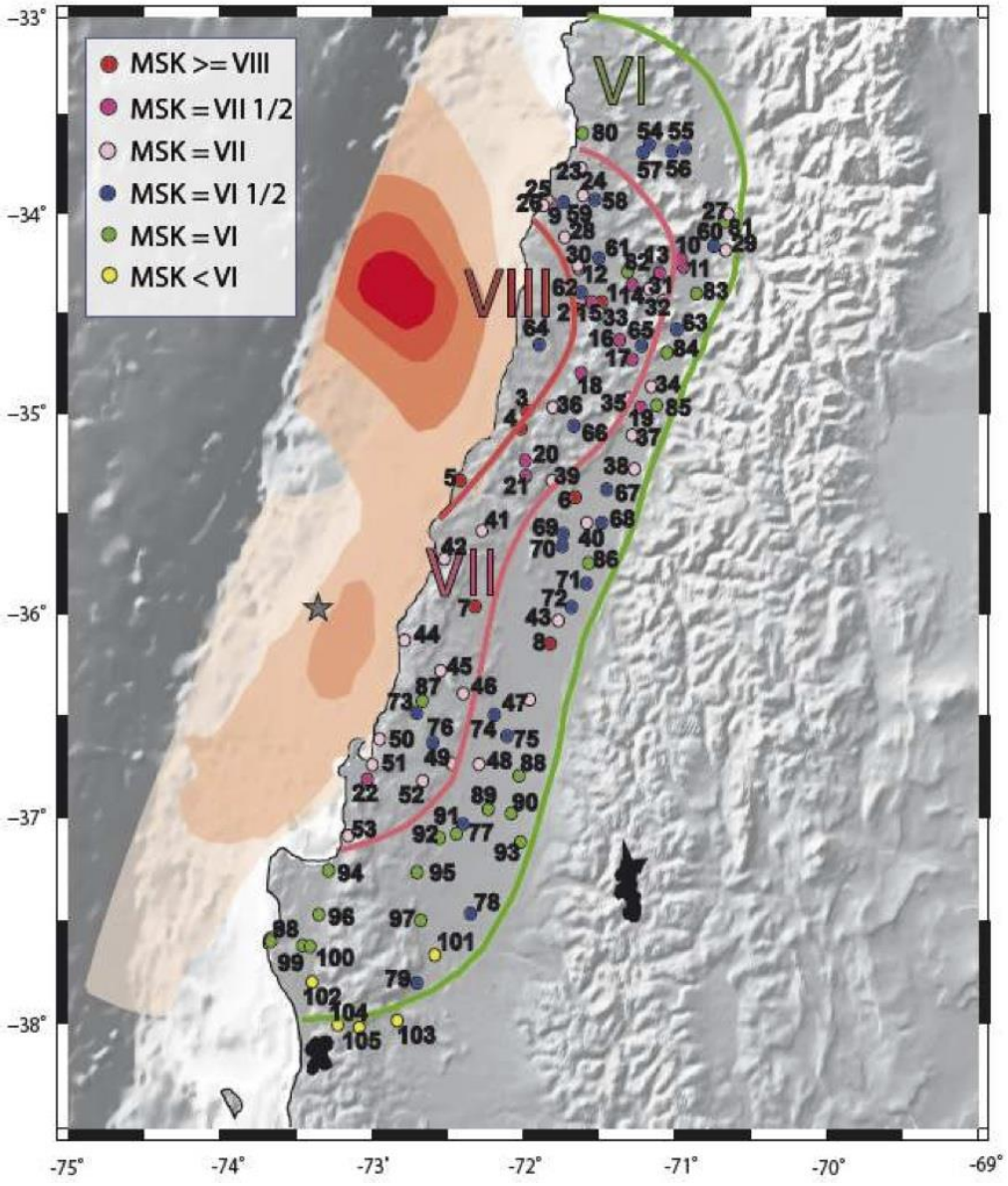
Las asperezas antes descritas tuvieron un fuerte impacto en la distribución del daño producido por este terremoto, tal como lo muestran Ruiz & Astroza (2011), ver Figura


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6.7.2.3-4. Esta Figura muestra las intensidades de más de 100 localidades examinadas por los autores tras el terremoto, mostrando valores desde menos de VI (en la zona sur) hasta sobre VIII en 8 localidades estudiadas.

**FIGURA 6.7.2.3-4**

**INTENSIDADES ESTIMADAS A TRAVÉS DE MEDICIONES DE DAÑO, TRAS EL TERREMOTO DEL MAULE. LAS CURVAS MARCAN LAS ISOSISTAS Y LAS NÚMEROS ROMANOS SU VALOR**



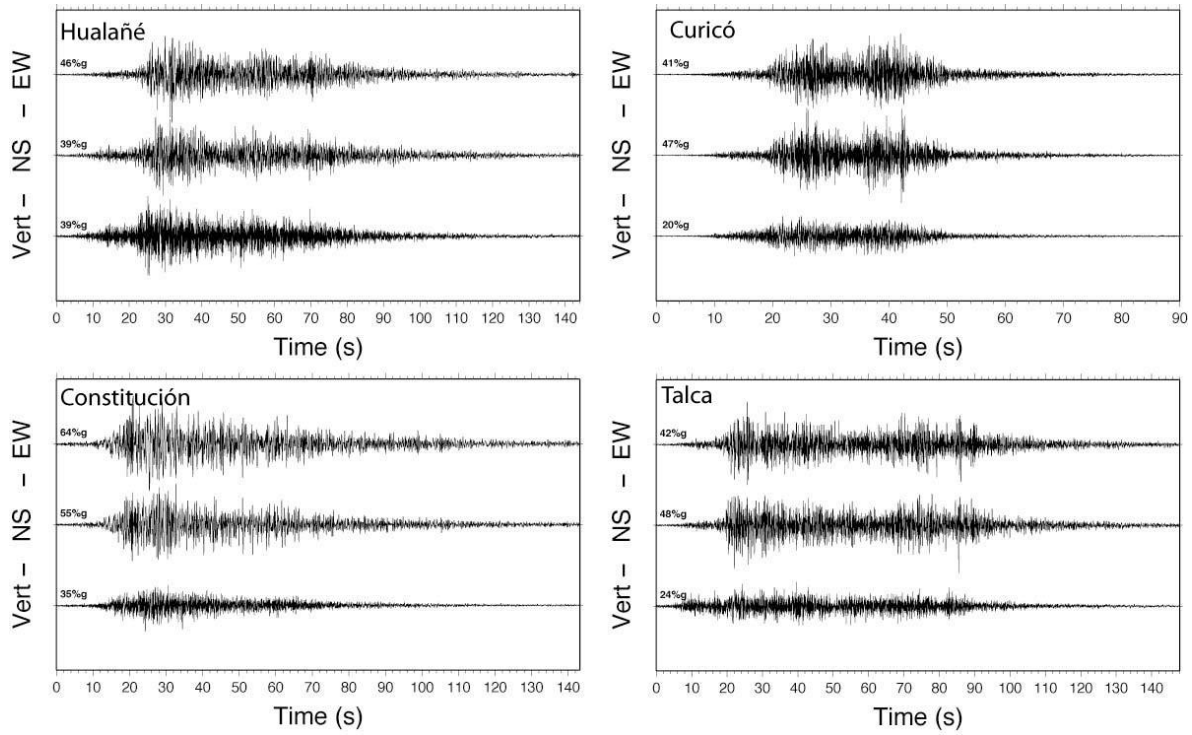

Fuente: Tomada de Ruiz y Astroza, 2012


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Tal como se mencionó anteriormente, este gran evento fue registrado por una serie de instrumentos instalados a lo largo de Chile Central, cuya localización fue presentada en la Figura 6.7.2.3-2. En la Figura 6.7.2.3-5 se presentan algunos acelerogramas registrados para este terremoto: Hualañé, Curicó, Constitución y Talca (Boroschek y otros, 2010).

**FIGURA 6.7.2.3-5**

**ACELEROGRAMAS DEL TERREMOTO DEL MAULE 2010 DE LAS ESTACIONES MÁS CERCANAS AL LUGAR DE ESTUDIO: HUALAÑÉ, CURICÓ, CONSTITUCIÓN Y TALCA**




Fuente: Boroschek y otros, 2010

En la Figura, el borde izquierdo identifica cada una de las componentes: Vert: vertical, NS: Norte-Sur y EW: Este. Las trazas de cada estación han sido normalizadas, mostrando el valor de la máxima aceleración en el borde izquierdo.

- **Sismos Intraplaca de Profundidad Intermedia**

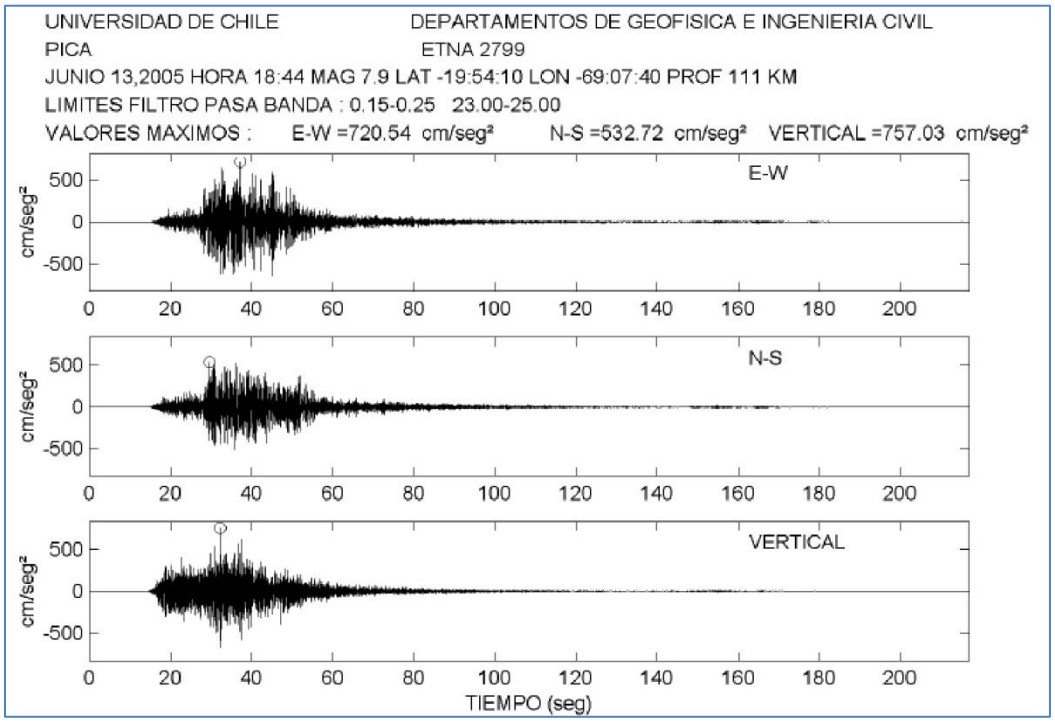
La zona donde se ubica el proyecto registró uno de los eventos profundos más significativos de los últimos años: Tarapacá de 2005 (ver Figura 6.7.2.3-6); Lo que se complementa con datos de otros grandes eventos registrados en Chile. Uno de los eventos más significativos de tipo intraplaca de profundidad intermedia fue el terremoto de Chillán de 1939. En esa época no se contaba con instrumentos que pudiesen registrar el movimiento del suelo, pero se presenta un mapa con las intensidades estimadas a partir de registros históricos (Figura


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6.7.2.3-6). De esta Figura es posible ver que en la zona epicentral se alcanzó una intensidades de IX y X en la escala de Mercalli Modificada, y VII en la zona en estudio. Otro evento significativo de este tipo de fuente sismogénica fue Punitaqui de 1997, cuya curva de isosistas se presentada en la Figura 6.7.2.3-6, junto con la de Tarapacá de 2005. Nótese que estos eventos también presentan altas intensidades en la zona epicentral, decayendo rápidamente con la distancia (Astroza y otros, 2002).

**FIGURA 6.7.2.3-6**

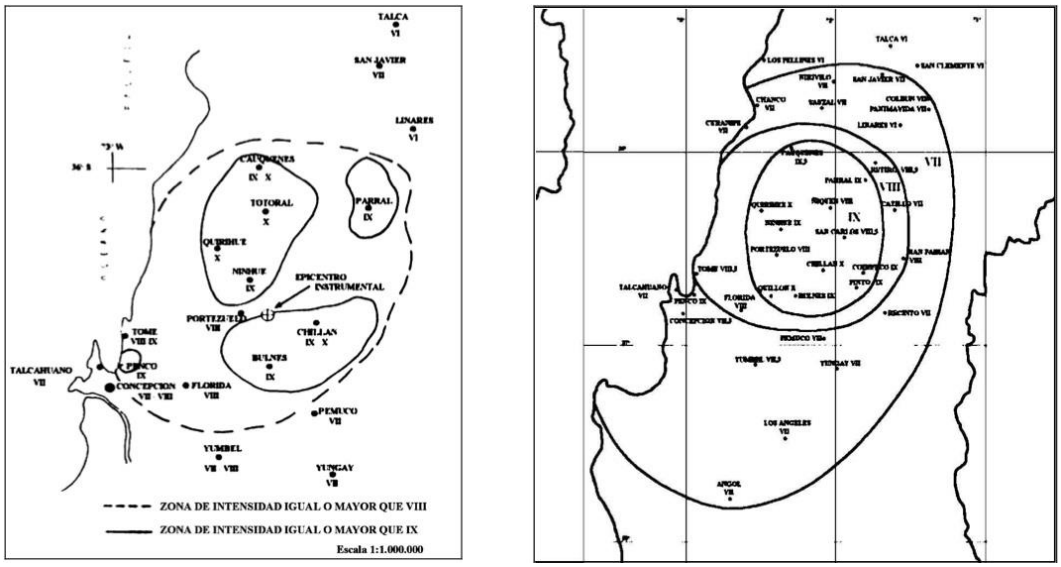
**REGISTROS DE ACELERACIONES (EN CM/S2) OBTENIDOS EN LA CIUDAD DE PICA PARA EL TERREMOTO DE TARAPACÁ DEL 2005**




Fuente: Boroschek y otros, 2005

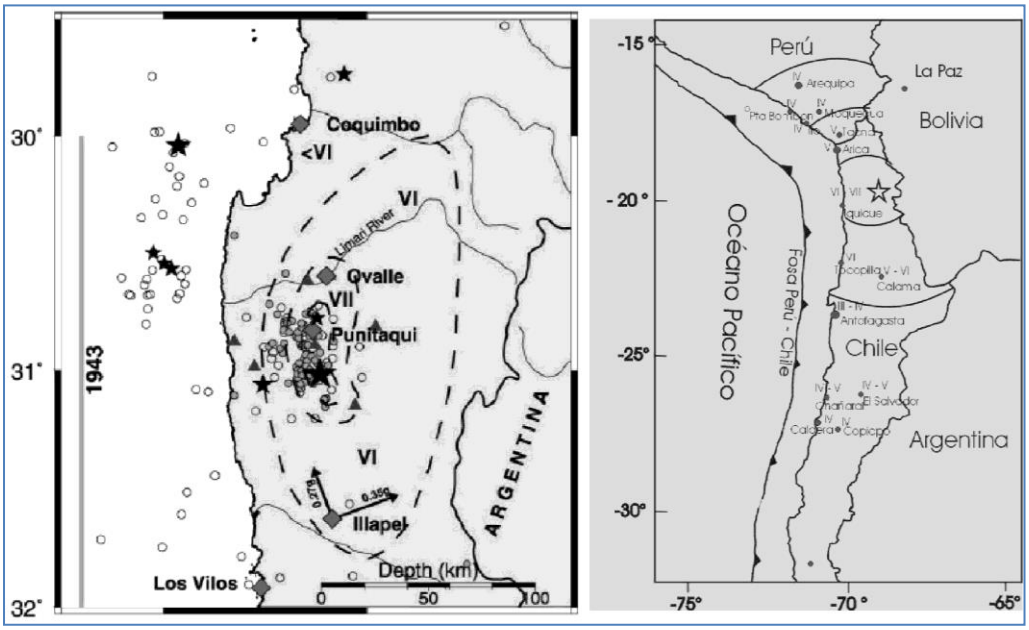

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 6.7.2.3-7
## MAPA CON LAS ISOSISTAS DE INTENSIDADES (EN ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA) DEL TERREMOTO DE CHILLÁN DE 1939




Fuente: Tomadas de Campos y Kausel, 1990 y Moya, 2002

## FIGURA 6.7.2.3-8
## MAPAS CON LAS INTENSIDADES DE LOS TERREMOTOS INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA DE PUNITAQUI DE 1997 Y TARAPACÁ DE 2005, IZQUIERDA Y DERECHA, RESPECTIVAMENTE

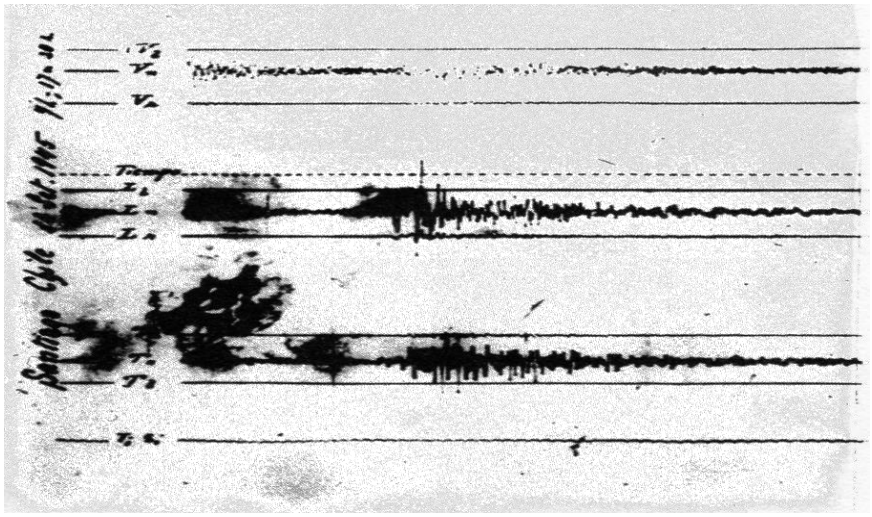



Fuente: Elaboración especialista sísmico

Además, se presentan registros de eventos significativos pertenecientes a esta fuente sismogénica, pero ocurridos en otros localidades, tales como el terremoto de Santiago de 1945 y Punitaqui de 1997 (Figura 6.7.2.3-9 y Figura 6.7.2.3-10, respectivamente).

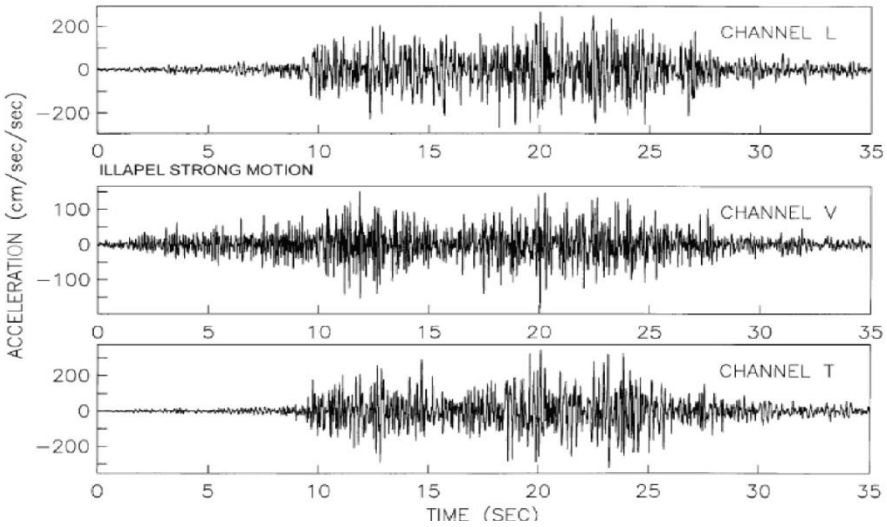
**FIGURA 6.7.2.3-9**

**ACELEROGRAMAS DEL TERREMOTO DE SANTIAGO DE 1945 REGISTRADO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE**



Fuente: FCFM

**FIGURA 6.7.2.3-10**
**REGISTROS DE ACELERACIONES (EN CM/S2) OBTENIDOS EN LA CIUDAD DE ILLAPEL PARA EL TERREMOTO DE PUNITAQUI DE 1997**




Fuente: Pardo y otros, 2002

- **Sismos corticales**

Los eventos corticales han sido muy escasos, pero entre los de mayor magnitud de los cuales se tiene registro, destacan los siguientes:

- Las Melosas 1958, magnitud 6,3 (Alvarado y otros, 2008).
- Aroma (Chusmiza) 2001, magnitud 6,2 (Comte y otros, 2003).
- Curicó 2004, magnitud 6,4 (Servicio Sismológico Nacional).

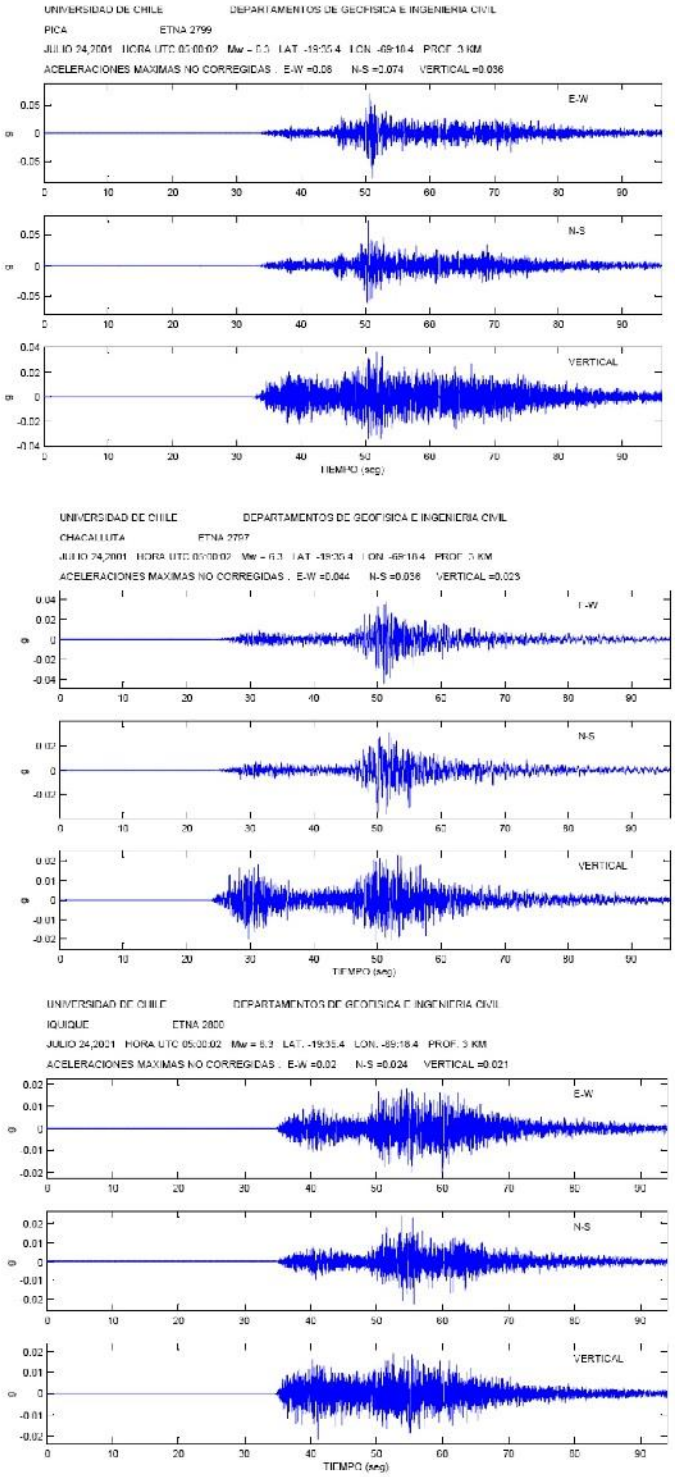
En las Figura 6.7.2.3-11 y Figura 6.7.2.3-12, se presentan los principales acelerogramas corticales registrados en Chile, durante los terremotos de Chusmiza 2001 y Curicó 2004. Además, en la Figura 7.2.3.3-13 se presentan las isosistas estimadas para el terremoto de Las Melosas de 1958.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.7.2.3-11**

**REGISTROS DE ACELERACIONES (EN G) OBTENIDOS PARA EL TERREMOTO CORTICAL DE CHUSMIZA 2001**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

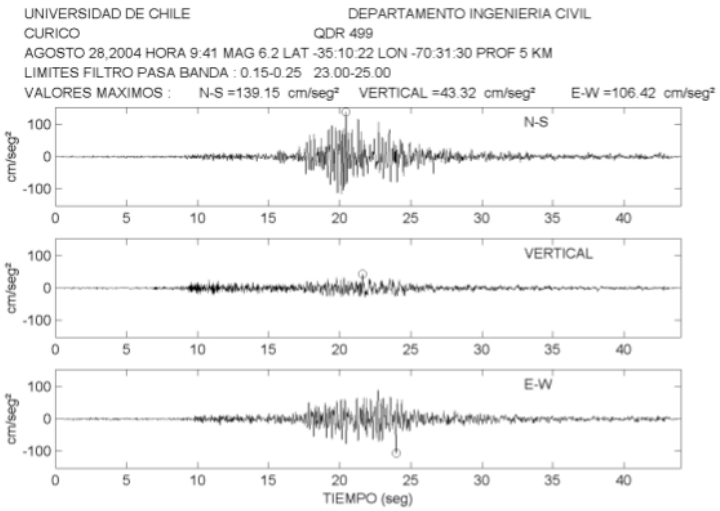



Fuente: Boroscheck y otros, 2001

**FIGURA 6.7.2.3-12**

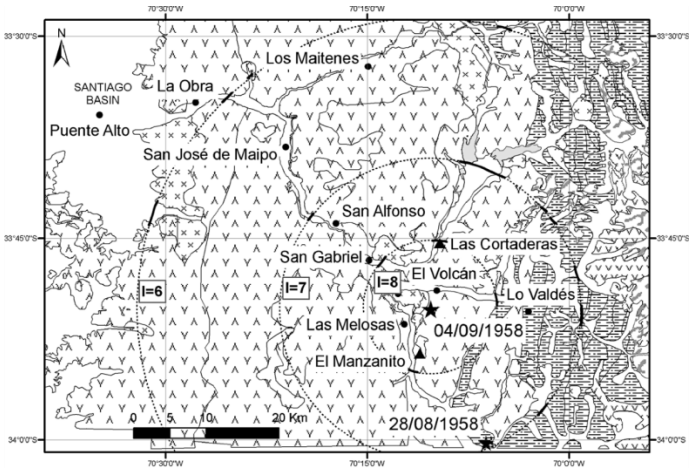

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## REGISTROS DE ACELERACIONES (EN CM/SEG2) OBTENIDOS PARA EL TERREMOTO CORTICAL DE CURICÓ 2004




Fuente: Boroscheck y otros, 2004

## FIGURA 6.7.2.3-13
## ISOSISTAS PRODUCIDAS POR EL TERREMOTO DE LAS MELOSAS DE 1958




Fuente: Tomado de Sepúlveda et al, 2008

Cabe destacar que las intensidades alcanzan grandes valores en la zona epicentral, pero caen rápidamente con la distancia.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## 6.7.2.4. Caracterización de las Fuentes Sismogénicas

Una vez definidas las fuentes sismogénicas a considerar en el presente estudio, se procederá a su caracterización de manera de determinar los parámetros necesarios para la estimación del Peligro Sísmico. Ella comprende la definición de la productividad sísmica mediante una ley de potencia (Gutenberg & Richter, 1944), el terremoto máximo (discutido en la sección anterior) y de las leyes de atenuación, todo esto para cada una de las fuentes sismogénicas. En el presente estudio se entiende como ley de atenuación a la relación que liga la magnitud de un cierto terremoto con la aceleración máxima en la componente horizontal, considerando la pérdida de energía producto de la distancia.

- **Productividad sísmica**

La productividad sísmica será descrita mediante la ley de potencia desarrollada por Gutenberg & Richter (1944) que determina el número de eventos (N) con magnitud igual o superior a Ms que ocurre en 1 año en toda la zona, mediante la relación

$$\text{Log}(N) = a - b\,Ms \qquad (1)$$

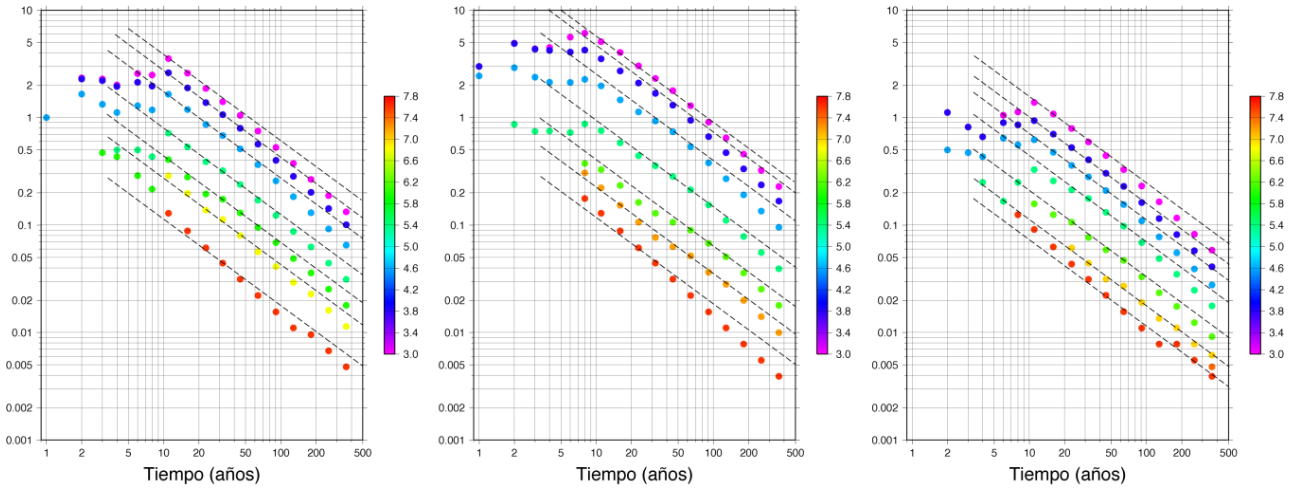
Donde Ms corresponde a la magnitud de ondas superficiales y los parámetros a y b deben ser determinados para cada fuente, en la zona bajo estudio.

Para su determinación se utilizaron los catálogos de NEIC y SISRA, siendo los parámetros a y b calculados máxima verosimilitud entre Log (N) y Ms (Page, 1968). Para su cálculo, se siguió la metodología definida por Stepp (1971, 1973) para definir las ventanas temporales mínimas en las cuales se puede considerar cierto rango de magnitud como completo en el catálogo. Así, por ejemplo, para magnitudes pequeñas, el catálogo del NEIC posee un tiempo suficientemente largo (más de 30 años) para hacer una buena estimación de la cantidad de eventos generada. Mientras, para magnitudes grandes es necesario utilizar el catálogo de SISRA que contiene información desde el siglo XVI, pero sólo es completo para los grandes eventos (Leyton et al., 2010). Un ejemplo de la aplicación de la técnica de Stepp (1971, 1973) se presenta en la Figura 6.7.2.4-1 para las fuentes interplaca tipo thrust e intraplaca de profundidad intermedia, en izquierda y derecha, respectivamente. De esta Figura es posible comprobar que para estimar la cantidad de eventos necesarios de magnitud Ms ≥ 4,0 de la fuente interplaca tipo thrust (izquierda) es necesario un catálogo de por lo menos 10 años, mientras que para magnitudes Ms ≥ 8,0 se requieren catálogos de, al menos, 100 años.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.7.2.4-1**

**NÚMERO DE EVENTOS DIVIDIDO POR LA VENTANA TEMPORAL EN FUNCIÓN DE LA VENTANA TEMPORAL CONSIDERADA Y LA MAGNITUD (VER LEYENDA EN LOS GRÁFICOS)**




Fuente: Elaboración especialista sísmico

En la Figura se grafican los estudios para la fuente interplaca tipo thrust, intraplaca de profundidad intermedia y corticales, de izquierda a derecha, respectivamente.

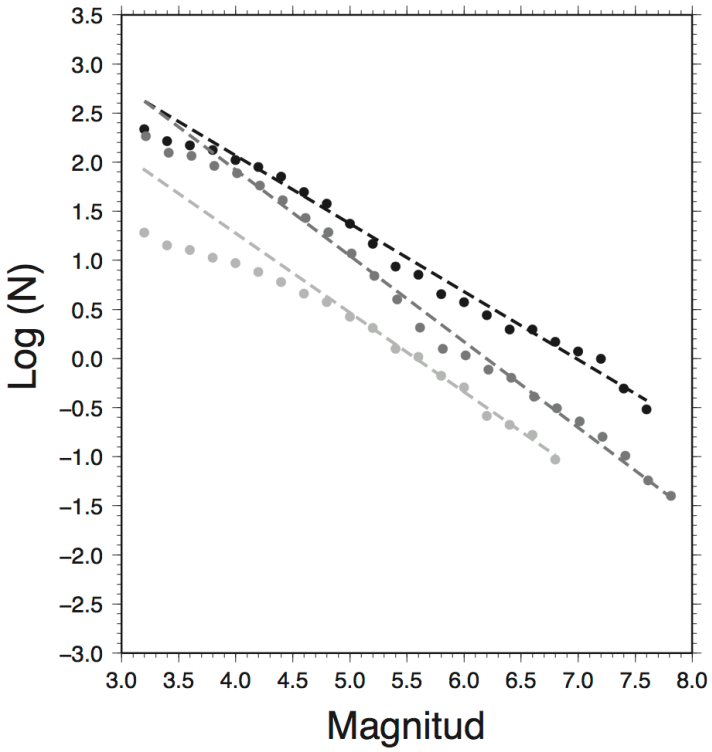
En la Figura 6.7.2.4-2 se presentan las relaciones obtenidas, junto con los datos provenientes del catálogo de sismicidad. Para cada tipo de fuente, se ha utilizado el gris oscuro para representar los resultados y datos de la fuente interplaca tipo thrust, en gris claro para la fuente intraplaca de profundidad intermedia.

Estas relaciones de potencia se conocen como leyes de Gutenberg-Richter (Gutenberg y Richter, 1941), las cuales, para cada fuente, toman los siguientes valores:

- Fuente de tipo interplaca tipo thrust (negro): Log (N) = 6,09 – 0,93 Ms.
- Fuente de tipo intraplaca de profundidad intermedia (gris oscuro): Log (N) = 5,94 – 1,01 Ms.
- Fuente de tipo cortical (gris claro): Log (N) = 4,92 – 0,91 Ms


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.7.2.4-2**
**LEYES DE GUTENBERG-RICHTER PARA CADA UNA DE LAS FUENTES SISMOGÉNICAS DEFINIDAS EN ESTE ESTUDIO**




Fuente: Gutenberg y Richter, 1941

Cabe destacar que la Figura 7.2.4.1-2 muestra sólo aquellos rangos de magnitudes en las cuales se puede considerar el catálogo como completo, siguiendo la metodología definida por Stepp (1971, 1973) y que las relaciones fueron obtenidas usando el método de máxima verosimilitud (Page, 1968). El límite de la magnitud máxima es producto que se posee un catálogo insuficientemente largo como para considerar de manera adecuada sus periodos de retorno.

- **Ley de atenuación**

Tal como se señaló anteriormente, en el presente trabajo se entiende como ley de atenuación a la relación que liga la aceleración máxima horizontal con la magnitud y distancia entre la fuente y el punto de observación. La atenuación de las dos fuentes sísmicas –interplaca e intraplaca- sigue leyes distintas debido a las diferentes características sismogénicas, siendo necesario estudiar los diferentes tipos de atenuación en forma independiente. En general, para estudios de peligro y riesgo sísmico se trabaja habitualmente con la atenuación de la


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

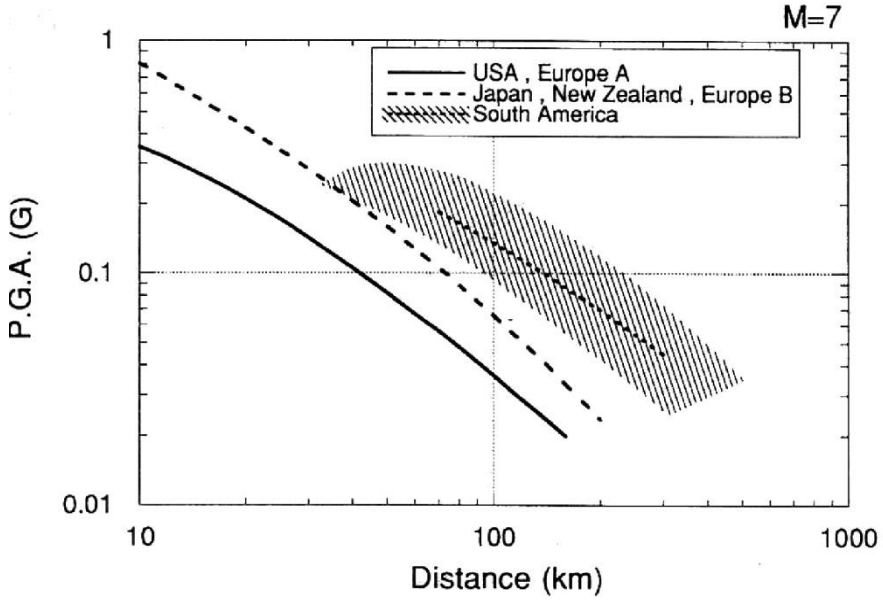
aceleración máxima, tal como se desarrolla en el presente estudio. A continuación se presentan las leyes de atenuación de aceleración máxima que reflejan de mejor forma las características de cada fuente sísmica en la zona de estudio.

- Sismos thrust e intraplaca de profundidad intermedia

La necesidad de contar con fórmulas de atenuación desarrolladas para una zona particular surge de la observación desarrollada en los últimos años, es así como al comparar la atenuación de diferentes zonas sísmicas del mundo se concluye que las aceleraciones máximas en Sudamérica se atenúan menos con la distancia que para otras zonas del mundo (Iai y Brady, 1993), tal como se muestra en la Figura 6.7.2.4-3.

**FIGURA 6.7.2.4-3**

**CURVAS PROMEDIO DE ACELERACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES ZONAS DEL MUNDO**



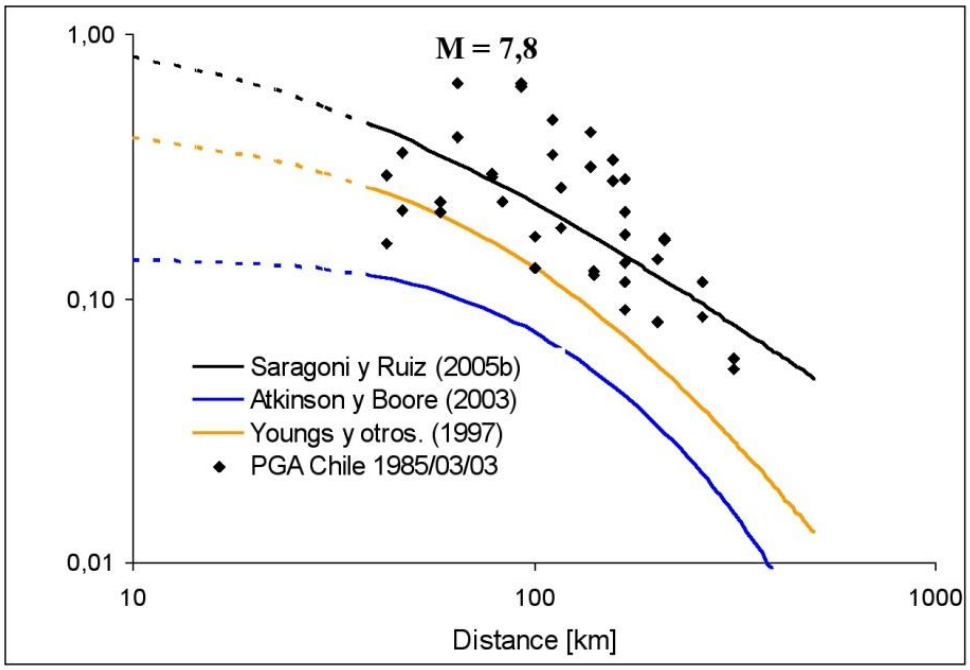

Fuente: Tomada de Iai & Brady, 1993

Posteriormente, Young y otros (1997) propusieron separar las fórmulas de atenuación de los sismos de subducción en terremotos interplaca e intraplaca de profundidad intermedia. Así, Saragoni y otros (2004) y Ruiz & Saragoni (2005) proponen fórmulas que consideran sólo datos de una determinada región y separados por el tipo de subducción en interplaca e intraplaca de profundidad intermedia, pudiendo mostrar que otras fórmulas desarrolladas con datos de diferentes zonas de subducción, no son capaces de representar adecuadamente la atenuación de la zona de subducción chileno-argentina.

Un ejemplo se muestra en la Figura 6.7.2.4-4, donde se presenta la fórmula de atenuación para terremotos thrust para la zona de subducción chileno-argentina de Ruiz & Saragoni (2005) comparada con la propuesta por otros autores, los puntos negros corresponden a aceleraciones máximas registradas para un terremoto magnitud 7,8, como el terremoto de 1985 en Chile Central. Es posible apreciar que las fórmulas propuestas por otros autores no ajustan bien a los datos chilenos.

**FIGURA 6.7.2.4-4**

**COMPARACIÓN ENTRE LAS FÓRMULAS DE ATENUACIÓN DE ACELERACIONES MÁXIMAS HORIZONTALES DE TERREMOTOS INTERPLACA TIPO THRUST REGISTRADAS EN ROCA Y SUELO DURO, PROPUESTA POR YOUNGS Y OTROS (1997), POR ATKINSON Y BOORE (2003) Y POR SARAGONI Y RUIZ (2005) (EL EJE VERTICAL CORRESPONDE A LA ACELERACIÓN HORIZONTAL MÁXIMA EN G)**



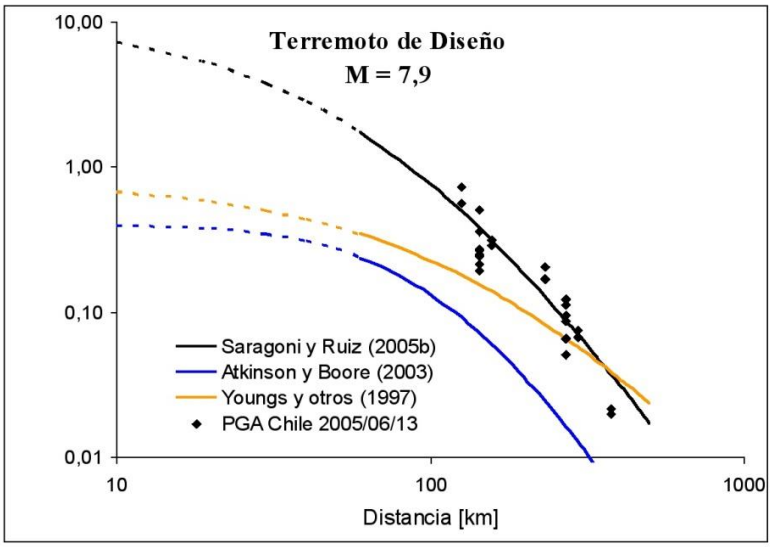

Fuente: Youngs y otros (1997), por Atkinson y Boore (2003) y por Saragoni y Ruiz (2005)

En la Figura 6.7.2.4-5 se presenta otro ejemplo similar al anterior, pero para terremotos intraplaca de profundidad intermedia de magnitud 7,9.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.7.2.4-5**

**COMPARACIÓN ENTRE LAS FÓRMULAS DE ATENUACIÓN DE ACELERACIONES MÁXIMAS HORIZONTALES DE TERREMOTOS INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA REGISTRADA EN ROCA Y SUELO DURO, PROPUESTA POR YOUNGS Y OTROS (1997), POR ATKINSON Y BOORE (2003) Y POR SARAGONI Y RUIZ (2005) (EL EJE VERTICAL CORRESPONDE A LA ACELERACIÓN HORIZONTAL MÁXIMA EN G)**



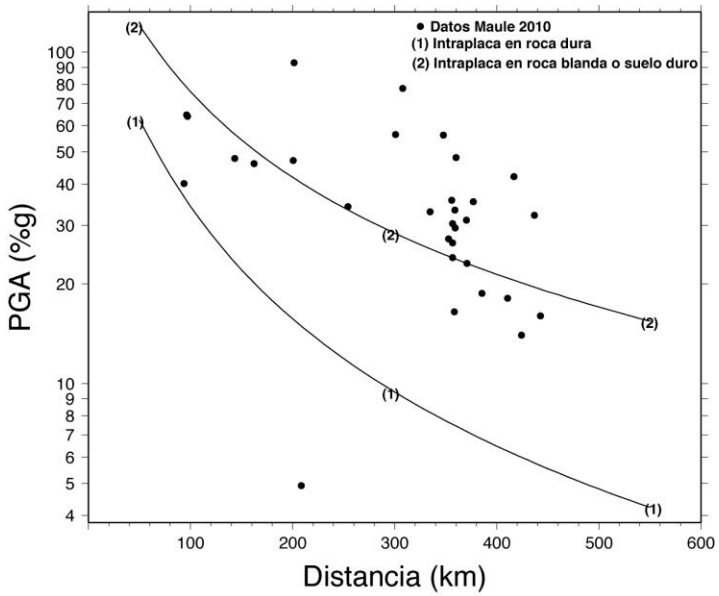

Fuente: Youngs y otros (1997), por Atkinson y Boore (2003) y por Saragoni y Ruiz (2005)

Tal como se señaló, el terremoto del Maule 2010 fue registrado por una serie de instrumentos en Chile Central lo que permite determinar las aceleraciones horizontales máximas producidas (Barrientos, 2010; Boroschek y otros, 2010). En la Figura 6.7.2.4-6 son comparadas con las leyes de atenuación definidas por Ruiz y Saragoni (2005) para sismos interplaca tipo thrust, medidos en roca dura y en roca blanda o suelo duro. Cabe destacar que muchos de los lugares de medición se encontraban en suelos blandos, los cuales aumentan las aceleraciones registradas.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.7.2.4-6**

**COMPARACIÓN DE LEYES DE ATENUACIÓN DE RUIZ Y SARAGONI (2005) PARA SISMOS INTERPLACA TIPO THRUST Y LOS DATOS REGISTRADOS EN EL MAULE 2010**



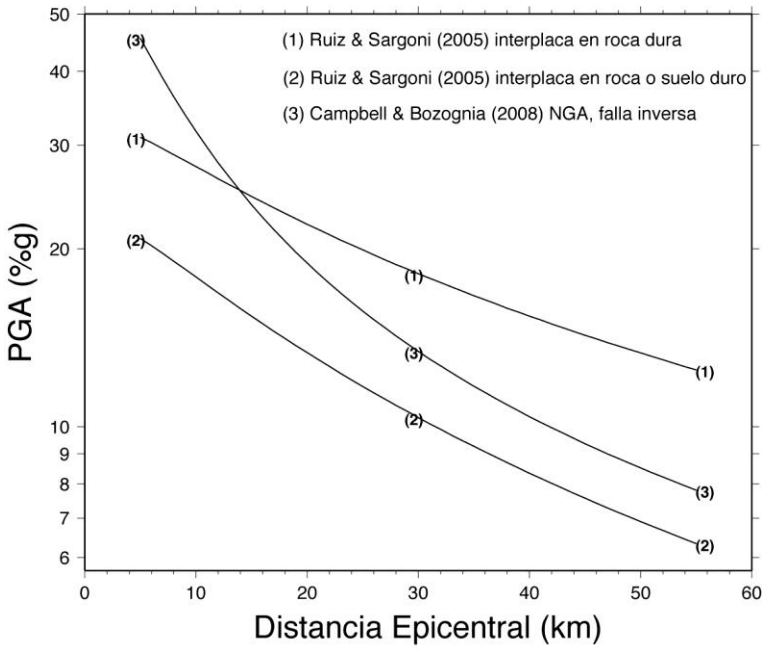

Fuente: Ruiz y Saragoni (2005) y registrados en el Maule 2010

- **Sismos corticales**

Actualmente no se dispone de información suficiente para desarrollar una ley de atenuación para los terremotos corticales, por lo que se decidió usar una basada en datos mundiales. En la Figura 6.7.2.4-7 se muestran las siguientes leyes de atenuación:


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.7.2.4-7**
**LEYES DE ATENUACIÓN DEFINIDAS PARA CHILE**




Fuente: Ruiz & Saragoni (2005) y Campbell & Bozorgnia (2008)

En esta Figura se tienen las leyes de atenuación definidas para Chile, pero que representan los terremotos tipo thrust y otra para sismos corticales provenientes de datos mundiales (ver detalles en el texto). Todas fueron evaluadas para un sismo de magnitud 7,0, a una profundidad de 10 km.

Cabe destacar que es necesario hacer la diferencia entre roca dura y, roca y suelo duro puesto que la mayoría de las leyes de atenuación desarrolladas con datos mundiales fueron calibradas para este segundo tipo de emplazamiento. Además, de la Figura 6.7.2.4-7 es posible verificar las notorias diferencias entre las aceleraciones estimadas a partir de las leyes para sismos interplaca y para sismos corticales: las segundas llegan a valores más altos en distancias cortas, pero decaen más rápidamente. Este aspecto resalta la necesidad de usar leyes de atenuación, en lo posible con datos locales, pero que representen fielmente el fenómeno observado.

Otro aspecto relevante es el hecho que las relaciones de atenuación utilizadas en el presente informe corresponden a las más recientes definidas en Chile, incluyendo todos los datos existentes hasta la fecha. Ello redunda en que representan de mejor manera la respuesta a grandes terremotos en nuestro país. Además, de las Figura 6.7.2.4-4 a Figura 6.7.2.4-7 es posible ver que existe una gran dispersión en los datos, por lo que es necesario considerar un error de 0,05 g en las estimaciones realizadas con estas leyes de atenuación (S. Ruiz, comunicación personal).


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 6.7.3. Estimación del Peligro Sísmico

Para la estimación del Peligro Sísmico se utilizarán las metodologías probabilística y determinística. La primera de ellas entrega un valor que combina el efecto de todas las fuentes, mientras que en la segunda se considera cada fuente sismogénica por separado considerando el efecto más extremo que cada una de ellas produce sobre el sitio en estudio.

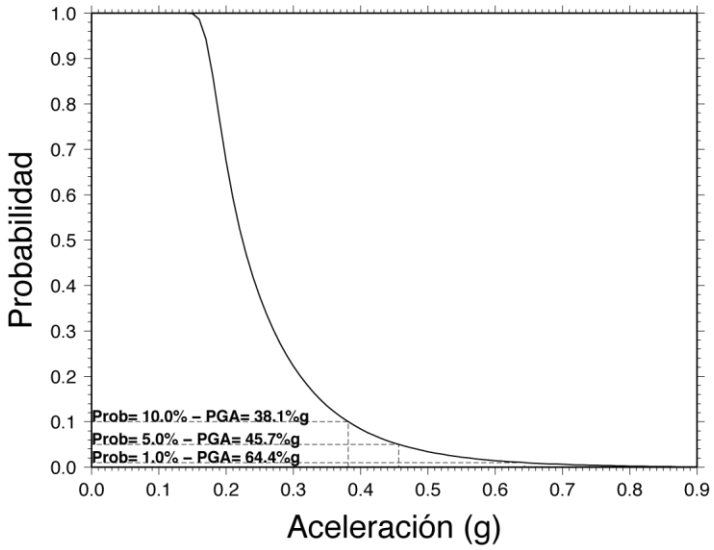
## 6.7.3.1. Metodología Probabilística

La metodología probabilística se basa en el desarrollo teórico hecho por Cornell (1968), el cual posteriormente fue generalizado por Algermissen & Perkins (1976) y Algermissen y otros (1982). En el presente estudio, además, se incorporan las modificaciones hechas por Anderson & Trifunac (1978) las cuales apuntan a pesar cada una de las fuentes utilizadas en el cálculo de acuerdo a su productividad sísmica. Este aspecto es de vital importancia cuando se consideran fuentes de diversa naturaleza, como las descritas en el presente informe. Es importante recalcar que los resultados aquí entregados corresponden a la combinación de las dos fuentes sismogénicas antes descritas. Luego, no es posible identificar un único evento o fuente como la responsable principal del peligro sísmico obtenido.

En la Figura 6.7.3.1-1 se presenta el resultado para el período de vida útil de 50 años; además, se han marcado las probabilidades de excedencia de 10%, 5% y 1%. Con ello es posible estimar los periodos de retorno 475, 975 y 4975 años, respectivamente, mostrados en el Cuadro 6.7.3.1-1. Repitiendo este procedimiento es posible encontrar el valor de la aceleración máxima para diversos períodos de retorno, tal como se muestra en la Figura 6.7.3.1-2.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 6.7.3.1-1
## PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA VERSUS ACELERACIÓN HORIZONTAL MÁXIMA PARA LA ZONA DE ESTUDIO, CONSIDERANDO UN PERÍODO DE VIDA ÚTIL DE 50 AÑOS. SE HAN MARCADO LOS PUNTOS CON UN 10%, 5% Y 1% DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA



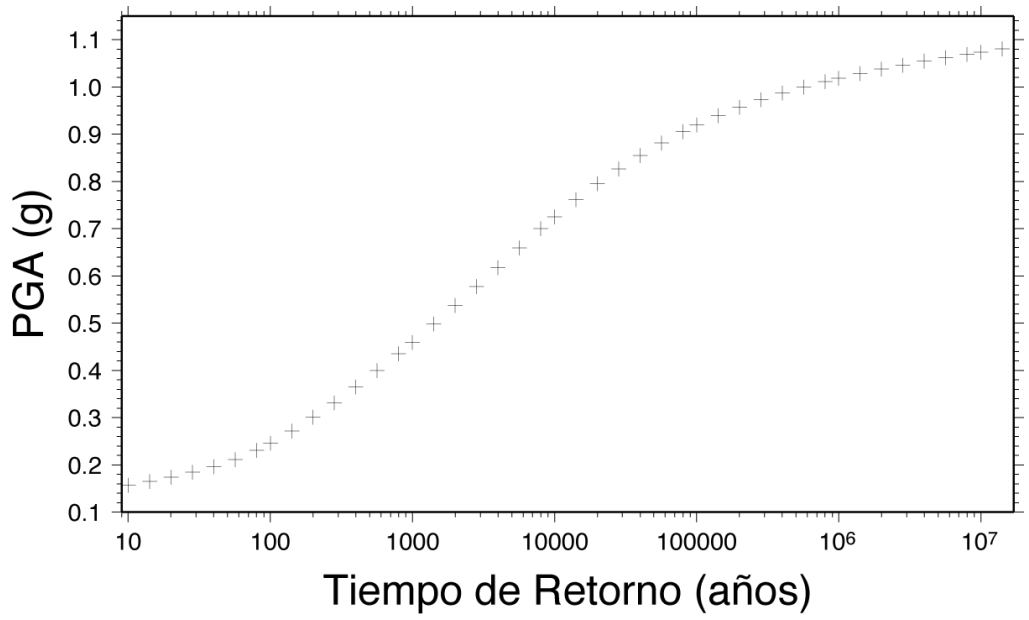

Fuente: Elaboración especialista sísmico

## CUADRO 6.7.3.1-1
## VALORES DE LA ACELERACIÓN HORIZONTAL MÁXIMA (PGA) PARA DIVERSOS PERÍODOS DE RETORNO, CONSIDERANDO LAS FUENTES INTERPLACA TIPO THRUST E INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA

| Período de Retorno (años) | PGA (g) |
|---|---|
| 475 | 0.381 |
| 975 | 0.475 |
| 4975 | 0.644 |
| -72.07 | -17.41 |
| -69.33 | -18.85 |
| -69.33 | -20.05 |
| -69.11 | -19.41 |

Fuente: Elaboración especialista sísmico

**FIGURA 6.7.3.1-2**
**ACELERACIÓN HORIZONTAL MÁXIMA (PGA) EN FUNCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO PARA LA ZONA EN ESTUDIO**




Fuente: Elaboración especialista sísmico

Para un período de retorno de 475 años se obtuvo un valor de 38% g para el sitio estudiado mientras que el proyecto GSHAP reporta un valor de 30% g. La diferencia probablemente se debe a una subestimación del efecto de los terremotos intraplaca de profundidad intermedia en la zona de estudio y a las leyes de atenuación utilizadas. Tal como se señala anteriormente, los terremotos interplaca tipo thrust e intraplaca de profundidad intermedia deben ser caracterizados en forma independiente, pues poseen características particulares (Leyton, 2001): los terremotos intraplaca de profundidad intermedia causan más daño en superficie (Astroza y otros, 2002), liberando más energía por unidad de área (Leyton y otros, 2008), al compararlos con los eventos interplaca tipo thrust. Este fenómeno ha mostrado modificar las estimaciones del peligro sísmico en Chile (Leyton y otros, 2009, 2010). Pero, la estimación hecha en este estudio es muy similar a las realizadas por Martin (1990) y Algermissen et al. (1992).

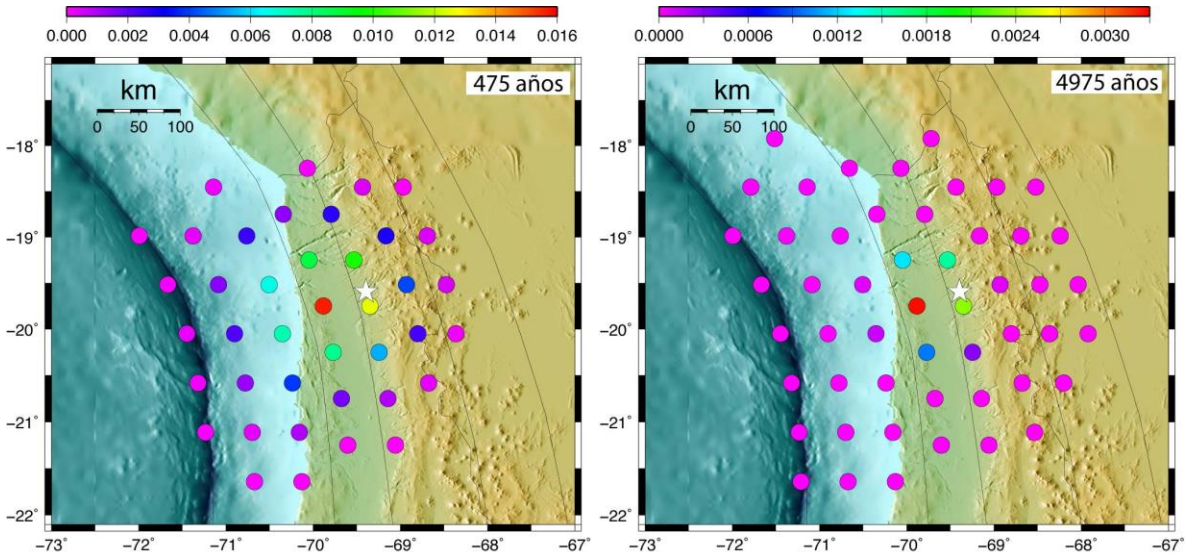
Un aspecto interesante de resaltar es el hecho que el resultado entregado por los estudios probabilísticos consideran el efecto combinado de todas las fuentes actuando en el punto de interés. En otras palabras, no es posible asociar la aceleración horizontal máxima de cada uno de los niveles de solicitación antes mencionados con sólo una fuente. Pese a ello, es relevante analizar el aporte que cada una de las fuentes realiza al peligro en cada nivel; en este caso, se estudia el aporte anual por subfuente puntual. Los resultados son mostrados en la Figura 6.7.3.1-3 para los sismos con un periodo de retorno de 475 y 4975 años, izquierda


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

y derecha, respectivamente. De dicha Figura es posible ver que para el periodo de retorno de 475 años se observa una mayor contribución de la fuente interplaca tipo thrust; mientras, por el otro lado, es la fuente intraplaca de profundidad intermedia que más aporta para el peligro sísmico en un periodo de retorno de 4975 años.

**FIGURA 6.7.3.1-3**

**MAPAS TOPOGRÁFICOS CON EL APORTE ANUAL (DE ACUERDO A LA ESCALA DEL BORDE SUPERIOR) DE CADA UNA DE LAS SUBFUENTES PUNTUALES A LOS DISTINTOS NIVELES DE SOLICITACIÓN**




Fuente: Elaboración especialista sísmico

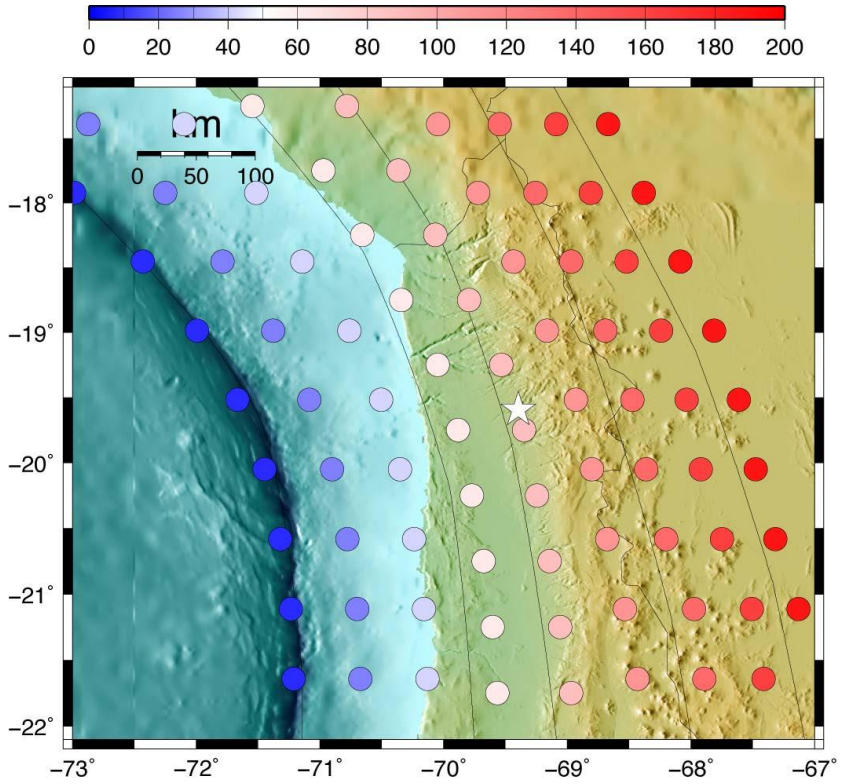
En la Figura el período de retorno de 475 años corresponde al gráfico derecho y la gráfica para el período de retorno de 4975 años corresponde al lado izquierda. La estrella blanca marca la posición del proyecto.

## 6.7.3.2. Metodología Determinística

De acuerdo a lo observado a partir de los terremotos históricos, para el terremoto máximo creíble se considera la repetición de un gran terremoto intraplaca de profundidad como el de 2005 o el terremoto de Chillán de 1939 con hipocentro cercano al proyecto a una distancia epicentral de 38 km del proyecto, profundidad de 110 km, y una magnitud de 8,0 (ver Figura 6.7.3.2-1).

Por otro lado, para el sismo de diseño fue seleccionado un evento interplaca tipo thrust de magnitud de 8,5, a una distancia de 143 km, con una profundidad de 40 km (ver Figura 6.7.3.2-1).

**FIGURA 6.7.3.2-1**
**MAPA CON LAS FUENTES PUNTUALES CONSIDERADAS EN ESTE ESTUDIO**




Fuente: Elaboración especialista sísmico

En la Figura en tonos azules se muestran las subfuentes interplaca tipo thrust, mientras que en tonos rojos las subfuentes interplaca de profundidad intermedia (ver escala de colores en borde superior para determinar profundidad, en km). La estrella marca la posición del proyecto.

Empleando las fórmulas de aceleración máxima propuestas por Ruiz y Saragoni (2005) para roca o suelo duro de terremotos chilenos thrust e intraplaca de profundidad intermedia se obtienen los valores de aceleración horizontal máxima presentados en el Cuadro 6.7.3.2-1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 6.7.3.2-1**
**PARÁMETROS Y RESULTADOS DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINÍSTICO, CONSIDERANDO LAS FUENTES ESTUDIADAS**

| Fuente | Distancia Epicentral (km) | Profundidad (km) | Distancia Hipocentral (km) | Magnitud (Mw) | PGA (g) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Interplaca tipo thrust** | 143,0 | 40,0 | 148,5 | 8,5 | 0,38 |
| **Interplaca tipo thrust** | 40,0 | 110,0 | 117,0 | 8,0 | 0,64 |

Fuente: Elaboración especialista sísmico

## 6.7.3.3. Fallas corticales

Para el desarrollo del presente estudio, se recopilaron una serie de antecedentes, entre los cuales se destaca la localización de las fallas corticales activas que potencialmente pueden afectar al proyecto (Lavenu, 2005). Se seleccionaron aquellas que producen un mayor impacto en la zona del proyecto, mostradas en la Figura 6.7.3.3-1; se le asignó un código a cada una de ellas para su mejor manejo, mostrado en la misma Figura, a la derecha. Cabe destacar que estas fallas pertenecen al sistema de fallas de Cabalgamiento Oeste (Lavenu, 2005), siendo de tipo dextral inversa, con una tasa estimada de menos de 1 mm/año. Usando leyes empíricas internacionales de Wells y Coppersmith (1994), se estima el terremoto máximo que cada una de las fallas es capaz de generar, considerando el largo observado en superficie. Dado este valor, se utiliza la ley de atenuación definida por Campbell y Bozorgnia (2008), la cual considera la base de datos más actualizada e incluye registros de todo el mundo. Los resultados son presentados en el Cuadro 6.7.3.3-1.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.7.3.3-1**

**FOTOGRAFÍAS AÉREAS CON LA ZONA DEL PROYECTO (PUNTO BLANCO) Y LAS FALLAS CORTICALES ACTIVAS CERCANAS (EN ROJO). EN LA DERECHA SE PRESENTA UN ZOOM, CON LOS CÓDIGOS ASIGNADOS A CADA UNA DE LAS FALLAS CONSIDERADAS**




Fuente: Elaboración especialista sísmico

**CUADRO 6.7.3.3-1**

**ESTIMACIONES DEL IMPACTO SOBRE EL ÁREA DEL PROYECTO DEL TERREMOTO MÁXIMO DE CADA UNA DE LAS FALLAS CONSIDERADAS EN ESTE ESTUDIO**

| Falla | Largo (km) | Magnitud (Mw) | Distancia (km) | GA (%g) | Largo (km) |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 77,5 | 7,3 | 9,2 | 3,1 | 77,5 |
| B | 34,0 | 6,9 | 6,3 | 7,5 | 34,0 |
| C | 22,2 | 6,6 | 11,2 | 6,7 | 22,2 |

Fuente: Elaboración especialista sísmico

De los resultados presentados en el Cuadro 6.7.3.3-1 cabe destacar que las aceleraciones máximas producidas por las fallas son del orden de las estimadas en el estudio probabilístico para periodos ~500 años. Dada la tasa de deformación estimada, y usando las leyes de escala de Wells y Coppersmith (1994), es posible estimar que, para poder generar el evento máximo estimado, deben transcurrir más de 700 años. Es por esta razón que es posible afirmar que

las potenciales aceleraciones máximas producidas por las fallas corticales consideradas en el presente estudio quedan por debajo de las producidas por las otras fuentes sismogénicas. Por lo tanto, los terremotos máximos creíbles siguen siendo los definidos anteriormente detallados en el Cuadro 6.7.3.2-1.

## *6.8. Estudio Geosísimico*

### 6.8.1. Metodología Utilizada

En la investigación del subsuelo de sitios en que se proyecta la construcción de obras civiles, tales como túneles, caminos, recursos hídricos, represas u otros, se hace cada vez más frecuente el uso de los métodos geofísicos para complementar y programar estudios adicionales (por ejemplo sondajes). El método aplicado con mayor frecuencia es el de refracción sísmica que proporciona antecedentes del subsuelo aprovechando para ello la información que entregan las ondas elásticas longitudinales que viajan a través de él, las que pueden ser generadas mediante explosivo ó golpes de martillo u otra fuente generadora de pulsos, generalmente dispuestas cercana a la superficie.

En la generalidad de las prospecciones por éste método, se ubican una serie de detectores (geófonos) sobre la superficie del terreno según una línea recta. En los extremos, alejados de ellos o en puntos intermedios de la recta se efectúan explosiones o golpes controlados como fuentes generadoras de pulsos sísmicos. Para cada explosión o golpe se obtiene un registro o sismograma en el que aparecen, los tiempos de llegada de las ondas sísmicas a los diferentes geófonos. Registrándose ondas directas que son aquellas que se propagan por la superficie desde el punto perturbado y ondas refractadas que son las que viajan hasta un contacto subterráneo, después por éste contacto, y desde allí hasta el geófono. Físicamente las ondas refractadas corresponden a ondas que han experimentado una refracción total en uno o más contactos entre las capas.

La teoría del método requiere el cumplimiento de las siguientes hipótesis para permitir una adecuada solución y precisión:

- Las velocidades de propagación en cada estrato son constantes.
- Las velocidades de los estratos sucesivos más profundos son sucesivamente mayores.
- Los contactos entre capas son planos de cualquier inclinación.
- Los estratos son suficientemente potentes para poder apreciar la onda refractada en ellos.

Los resultados de un estudio de refracción sísmica son tanto más confiable, cuanto mejor se cumplan las hipótesis señaladas. En general la precisión del método varía entre 80% y el 100%.

La interpretación parte del análisis de las curvas "camino-tiempo". A éstas se ajustan rectas que individualizan los diferentes estratos refractores y se procede a calcular


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

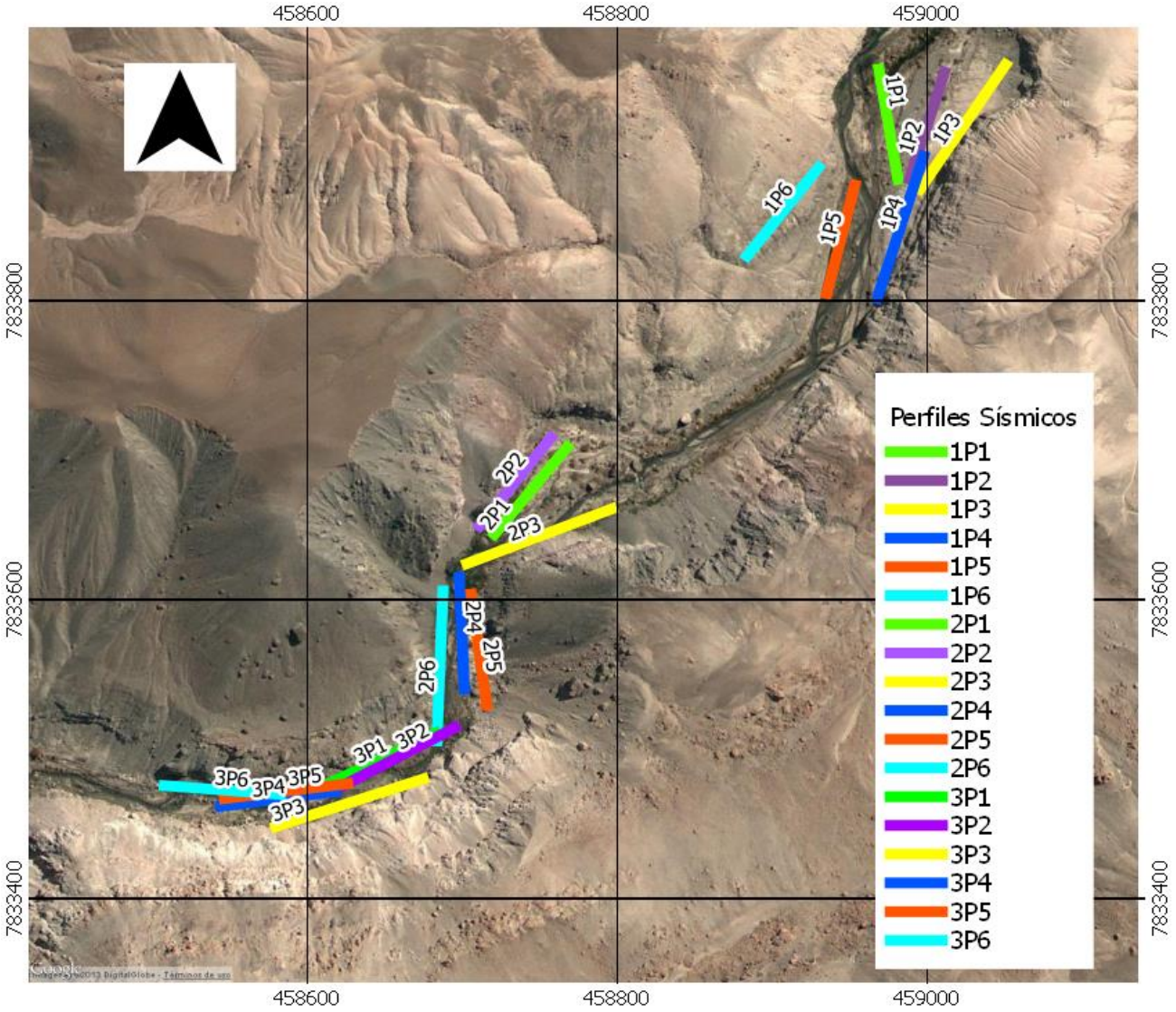
Velocidades reales y espesores de las capas. Este cálculo está programado para ser efectuado digitalmente permitiendo analizar un gran número de casos posibles.
Finalmente, se elige el modelo que mejor se ajuste al conjunto de datos de terreno, afinándose la interpretación, considerando las condiciones topográficas y geológicas de superficie. Se obtiene así una interpretación en forma de corte o perfil a lo largo de la línea investigada, en la que se muestran las capas del subsuelo y sus espesores. Además, se sugiere una correlación probable con estratos geológicos.
Sin embargo, es importante señalar que el método de refracción sísmica en sí mismo sólo diferencia capas de acuerdo a las velocidades de propagación de ondas elásticas en ellas. La información de profundidad que da el método debe entenderse como distancias a las interfases determinadas y no son por lo tanto, necesariamente verticales.

### 6.8.2. Trabajo de Terreno

El trabajo de terreno se efectuó durante los días 8, 9 y 10 de Abril del 2013, en él participaron los señores José Lagos, Diego Mena, Manuel Araneda y dos ayudantes de la zona. La ubicación de las experiencias sísmicas fue indicada por el señor Luis Arrau, posteriormente en terreno de acuerdo a la accesibilidad fueron modificadas ligeramente. Las alternativas del estudio fueron tres, en cada una se efectuaron seis perfiles sísmicos, como se verá en los gráficos tiempo-distancia y en la Figura 6.8.2-1.
En el estudio de refracción sísmica se utilizó un equipo sísmico portátil de 12 canales de la industria Geometric, modelo SmartSeis con registro en papel y posibilidad de archivar la información mediante un registro magnético. La precisión de lectura en el sismograma fue de un milisegundo. Se utilizaron geófonos de componente vertical de frecuencia propia 14 Hz para el registro de señales sísmicas. La generación de los pulsos sísmicos fue mediante golpes de un mazo de 12 kg de peso. Este mazo lleva adosado un cristal piezoeléctrico que al golpear el terreno se activa, dando la señal de tiempo de inicio de la generación de las ondas sísmicas. La distribución de los geófonos en cada perfil fue de acuerdo a la disposición de este, utilizándose 12 geófonos en cada perfil. La generación de los pulsos sísmicos fue a 3 m de cada extremo. Las fotografías anexas muestran diferentes fases y sitios del trabajo en terreno.
Las notas de interpretación dadas son solamente referenciales ya que el proceso es un poco más extenso.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.8.2-1**
**PERFILES SISMICOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO**




Fuente: Elaboración Propia a partir de Qgis

## 6.8.3. Resultados y Conclusiones

Los resultados de la interpretación de los perfiles sísmicos se pueden observar en las Figuras 6.8.3-1 a Figura 6.8.3-6 Alternativa ALT1, Figuras 6.8.3-7 a Figura 6.8.3-12 Alternativa ALT2 y Figura 6.8.3-13 a Figura 6.8.3-18 Alternativa ALT3.

En estas figuras se muestran los gráficos tiempo-distancia que son el reflejo de las configuraciones utilizadas en terreno. Las secciones interpretadas muestran las capas o


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

estratos calculados, en ellos se observan las velocidades reales de las ondas longitudinales calculadas con sus respectivos espesores. El Cuadro 6.8.3-1 muestra un resumen de estos resultados.

**CUADRO 6.8.3-1**
**RESUMEN DE RESULTADOS**

| Evento | Perfil | E~ 1er est M | Velocidad (m/s) | E~ 2er est M | Velocidad (m/s) | E~ 3er est M | Velocidad (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alternativa I | 1, Fig 6.8.3-1 | 1-2 | 515 | 10-12 | 1.680 | >12-13 | 3.970 |
| | 2, Fig 6.8.3-2 | 2-3 | 440 | 5-7 | 2.125 | >9-8 | 3.000 |
| | 3, Fig 6.8.3-3 | 3-4 | 337 | 6-10 | 912 | >10-13 | 3.815 |
| | 4, Fig 6.8.3-4 | 2 | 300 | 5-6 | 1.470 | >7-8 | 3.290 |
| | 5, Fig 6.8.3-5 | 2-3 | 687 | 7-8 | 2.438 | >9-11 | 3.330 |
| | 6, Fig 6.8.3-6 | 4-8 | 402 | >4-8 | 2.200 | | |
| Alternativa II | 1, Fig 6.8.3-7 | 2-4 | 800 | 8-13 | 1.945 | >10-17 | 2.825 |
| | 2, Fig 6.8.3-8 | 3 | 402 | 4-10 | 2.000 | >7-13 | 2.330 |
| | 3, Fig 6.8.3-9 | 1-2 | 600 | 6 | 2.000 | >7-8 | 2.500 |
| | 4, Fig 6.8.3-10 | 1-3 | 687 | 12-15 | 1.670 | >15-16 | 4.167 |
| | 5, Fig 6.8.3-11 | 3-4 | 515 | 11-13 | 2.080 | >14-17 | 3.225 |
| | 6, Fig 6.8.3-12 | 1-2 | 875 | 8-10 | 2.565 | >10-11 | 3.640 |
| Alternativa III | 1, Fig 6.8.3-13 | 2 | 515 | 9-12 | 1.250 | >11-14 | 2.890 |
| | 2, Fig 6.8.3-14 | 2-4 | 800 | 10-11 | 1.870 | >12-15 | 2.820 |
| | 3, Fig 6.8.3-15 | 3-6 | 750 | 12-15 | 2.410 | >18 | 4.980 |
| | 4, Fig 6.8.3-16 | 2-4 | 750 | 7-9 | 1.655 | >9-13 | 2.850 |
| | 5, Fig 6.8.3-17 | 2 | 430 | 12-14 | 1.172 | >14-16 | 3.750 |
| | 6, Fig 6.8.3-18 | 3 | 337 | 11-¿ | 912 | >14? | 3.815 |

E = espesor est= estrato Fig. = Figura

Fuente: Elaboración Propia

Para caracterizar los materiales del subsuelo en cuanto a su calidad geotécnica se utilizó una aproximación a la información obtenida en el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, Cuadro 6.8.3-2.

**CUADRO 6.8.3-2**
**CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DEL SUBSUELO**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| $V_p$ (m/s) | Tipo de Material |
|---|---|
| 300-800 | Suelo Superficial, arenas, escombros de falda, bolones gravas, materiales sin consolidación |
| 800-2.400 | Suelo semi compacto, roca meteorizada, gravas mal graduadas |
| 2.500-2.800 | Roca meteorizada a roca sana |
| >2.900 | Roca sana |
| ------ | Limite de penetración de la onda sísmica de acuerdo a la longitud del perfil sísmico |

Fuente: Departamento de Geofísica Universidad de Chile

El Cuadro 6.8.3-2 muestra una relación entre velocidades de propagación de las ondas sísmicas longitudinales y su calidad geotécnica.

Las velocidades de las rocas pueden variar en un rango amplio, ésta dependencia está relacionada con los parámetros físicos en la cual se encuentra. En general las rocas fracturadas pueden presentar velocidades entre 1.500 m/s y cercanas a 3.000 m/s. Es posible que las rocas puedan presentar valores de velocidades muy inferiores (meteorización).

Los materiales sedimentarios naturales como gravas u otros pueden también presentar un rango amplio de velocidades, las cuales están asociadas a las propiedades físicas en que se encuentran. Estas pueden variar aproximadamente entre 500 m/s a 2.700 m/s.

Las tres alternativas estudiadas se encuentran en gravas cementadas de origen volcánico y rocas metamórficas con diferentes grados de consolidación motivo por el cual presentan velocidades variables en espacios reducidos. El rango de velocidad de estos materiales varía entre 1.000 m/s a 2.600 m/s.

Velocidades mayores de 1.700 m/s representan rocas que mejoran con la profundidad, estas se pueden observar en la Alternativa ALT1 y ALT2.

El Perfil 6 de la Alternativa ALT3 presenta resultados confiables en velocidades y profundidad calculadas en el sector "este", no así en el sector oeste ya que la velocidad de la onda longitudinal no toca la roca de 3.815 m/s. Esto significa que el estrato rocoso se profundiza rápidamente hacia el oeste.

La Alternativa ALT1 es la que se presenta más favorable ya que la velocidad representativa de roca sana se encuentra en los primeros 5 perfiles cuyas profundidades varían entre 5 y 12 m. La única excepción son los resultados del Perfil 6 cuyos 2 estratos y final presentan velocidades de 2.200 m/s la que correspondería a una roca alterada.

Aunque en el análisis geosísmico se establece la existencia de tres rangos de velocidades que se pueden atribuir a formaciones geológicas con diversos grados de consolidación, se puede afirmar que estos rasgos pueden asociarse a depositaciones sedimentarias de acuerdo a los antecedentes geológicos.

A partir de la superficie cuyas velocidades se encuentran entre 250 a 700 m/s aproximadamente pueden asociarse a materiales de depositación reciente, cuya característica principal es su gran permeabilidad, lo que no concuerda con los resultados obtenidos en los ensayos lefranc y lugeon.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

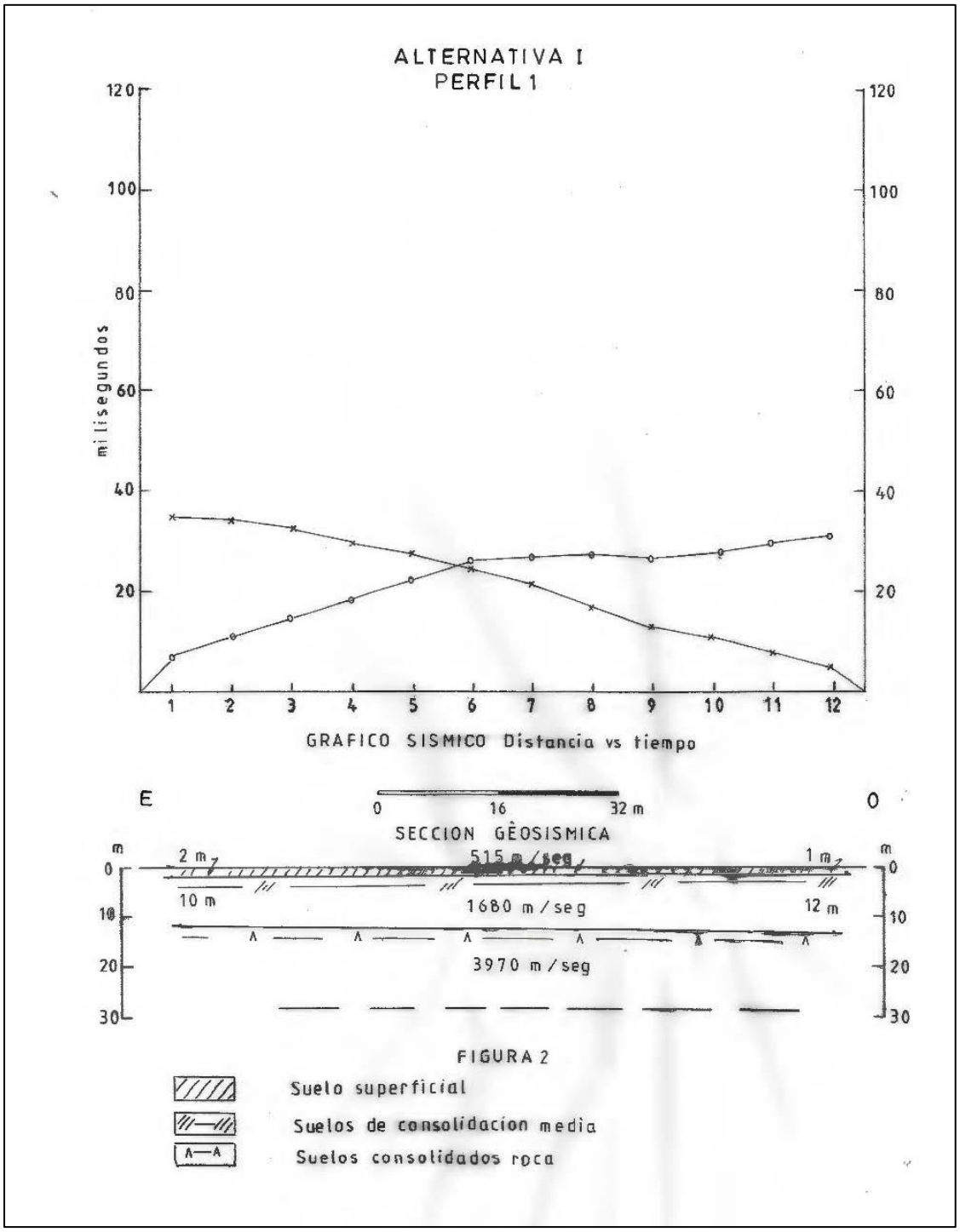
El segundo estrato cuyas velocidades fluctúan entre 900 a 2.600 m/s también pueden asociarse a depositaciones sedimentarias con un mayor grado de consolidación y probablemente con un menor grado de permeabilidad, sus espesores se muestran bastante variable esto nos indicaría que no existe un nivel freático característico como se presenta habitualmente en cuencas sedimentarias.

Los diversos grados de consolidación encontrados en los sondajes explicarían la amplitud del rango de velocidades. De la misma forma las formaciones encontradas en el tercer estrato (conglomerados cementados) corresponderían a depositaciones muy antiguas y probablemente presentan sectores impermeables. Las velocidades de estas formaciones pueden estar sobre los 2.700 m/s.

Finalmente, se presentan en la Figura 6.8.3-1 a la Figura 6.8.4-18 las presentaciones realizadas por la empresa "Servicios Geofísicos en Minería e Ingeniería LTDA (SEGMI)" de dichas alternativas.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.8.3-1**
**ALTERNATIVA I, PERFIL 1**





Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: SEGMI

**FIGURA 6.8.3-2**
**ALTERNATIVA I, PERFIL 2**

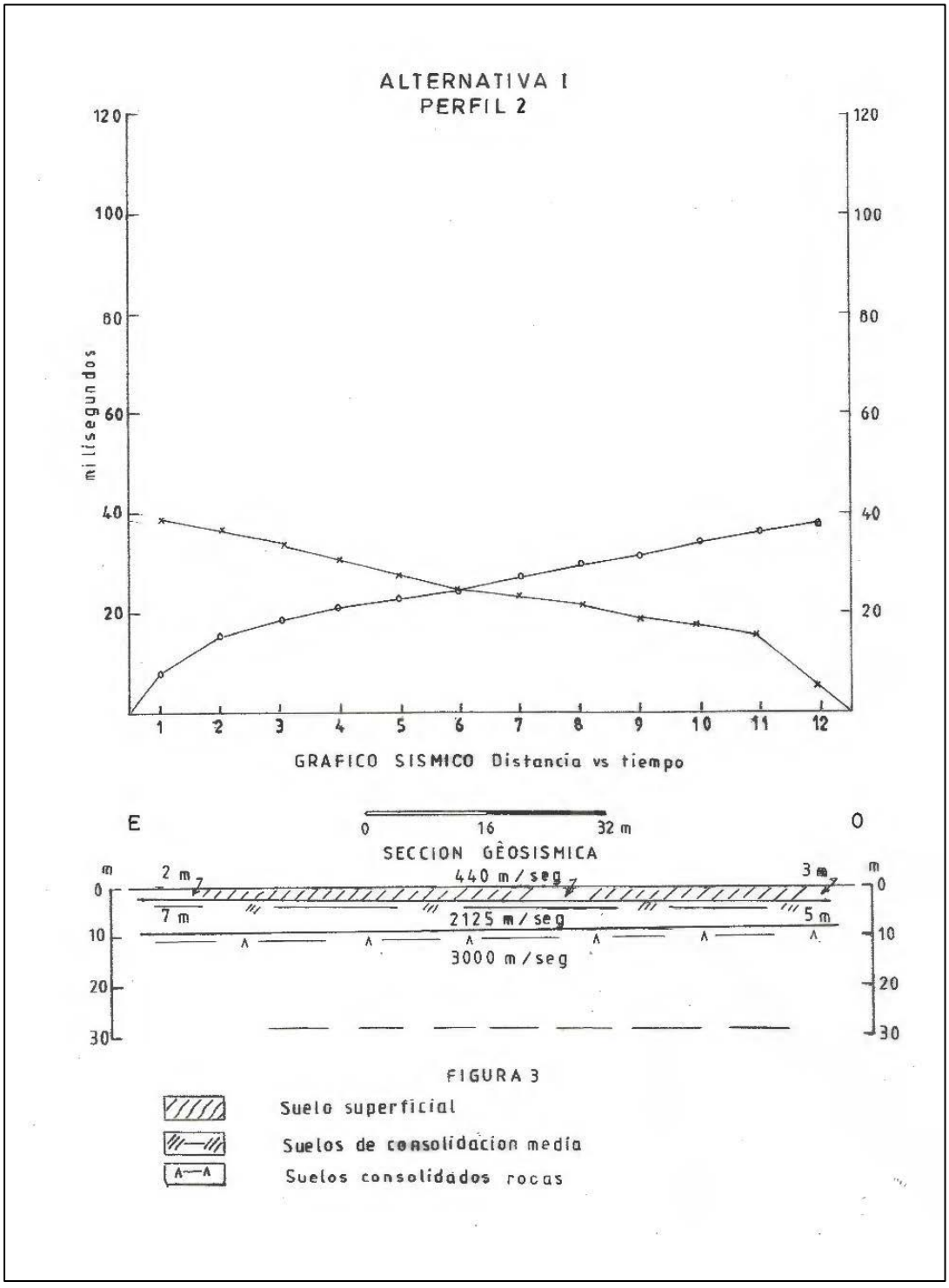
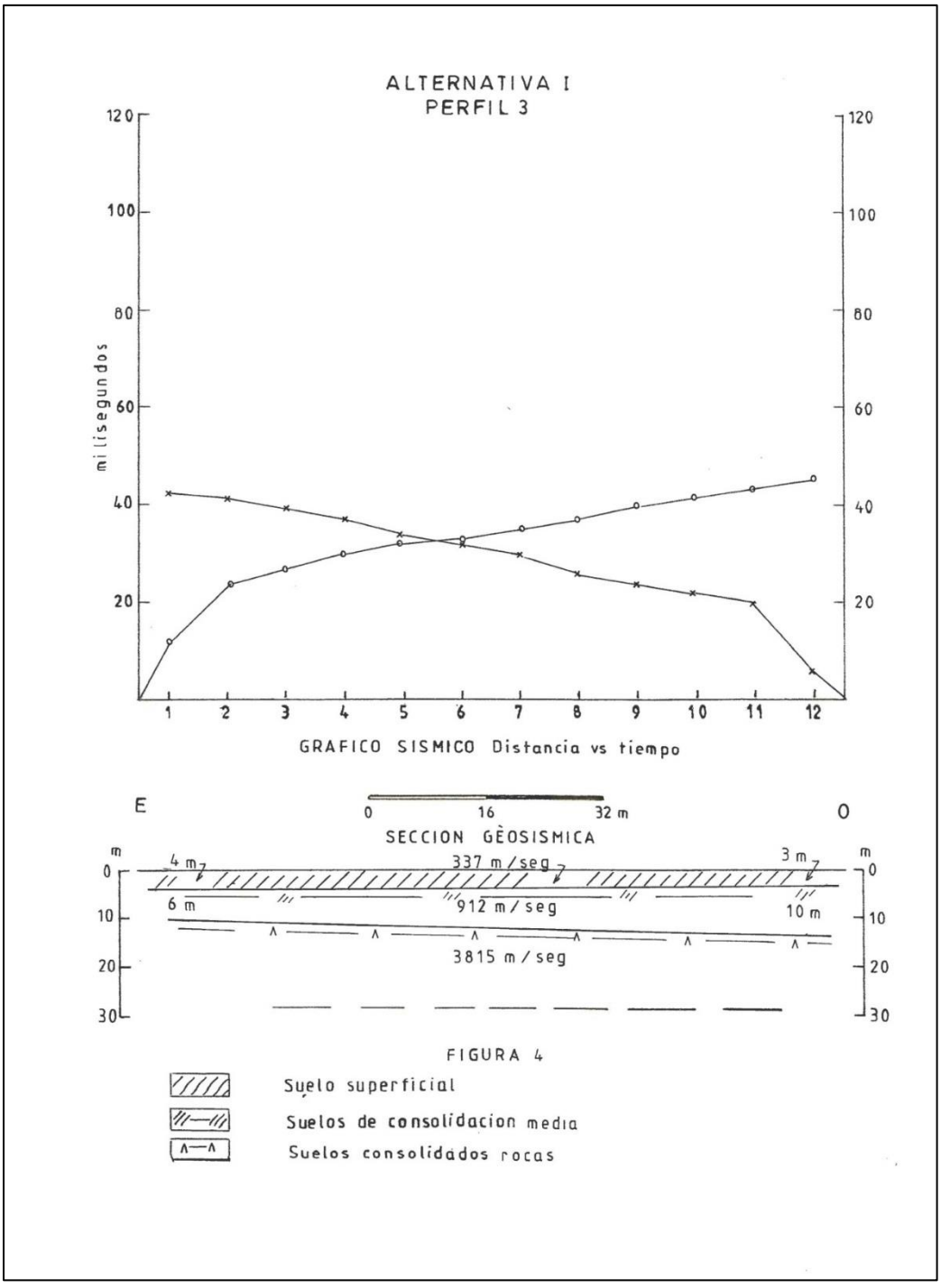



FIGURA 3

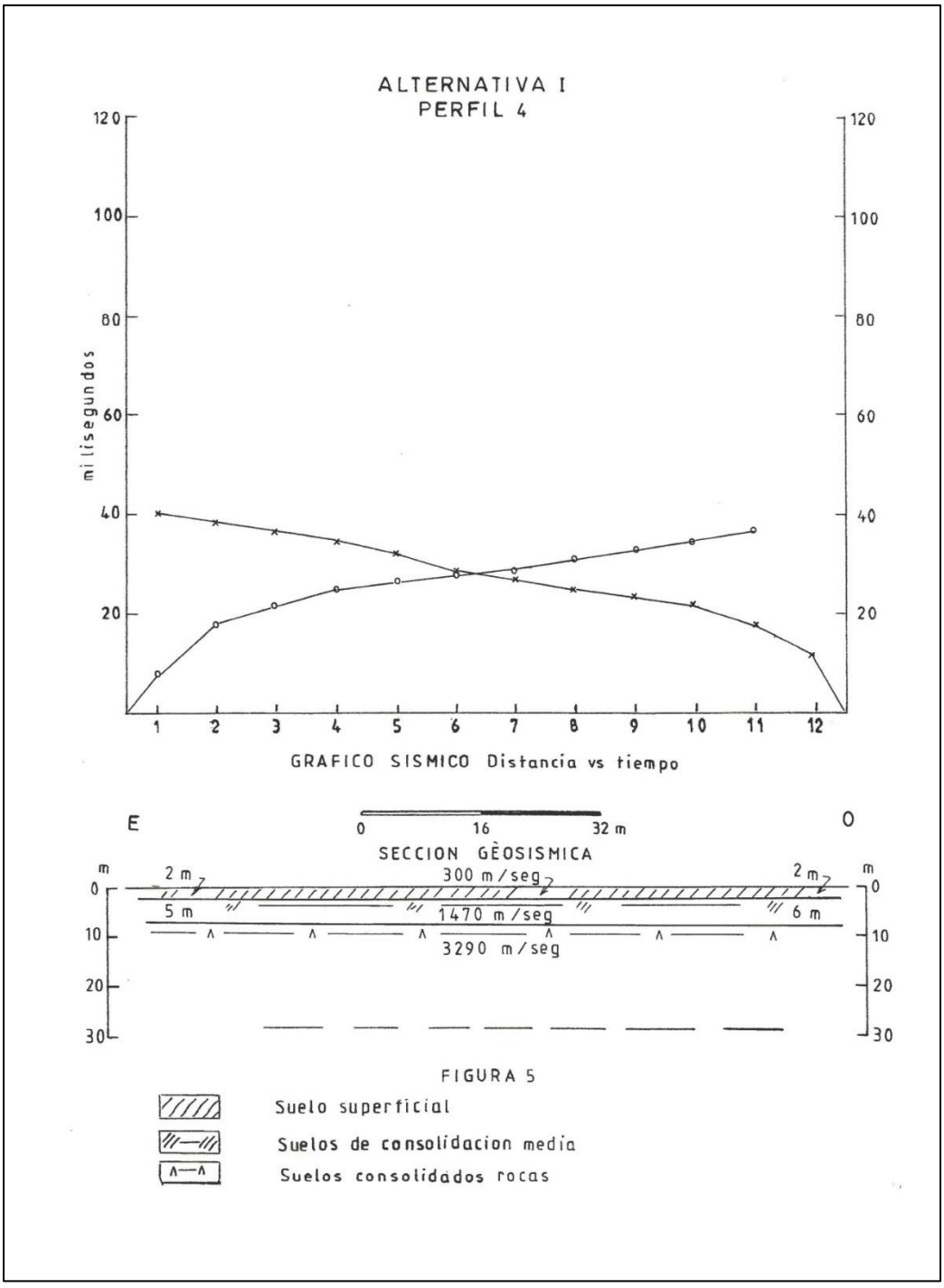
Fuente: SEGMI

## FIGURA 6.8.3-3
## ALTERNATIVA 1, PERFIL 3



Fuente: SEGMI

**FIGURA 6.8.3-4**
**ALTERNATIVA I, PERFIL 4**





Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: SEGMI

**FIGURA 6.8.3-5**
**ALTERNATIVA I, PERFIL 5**

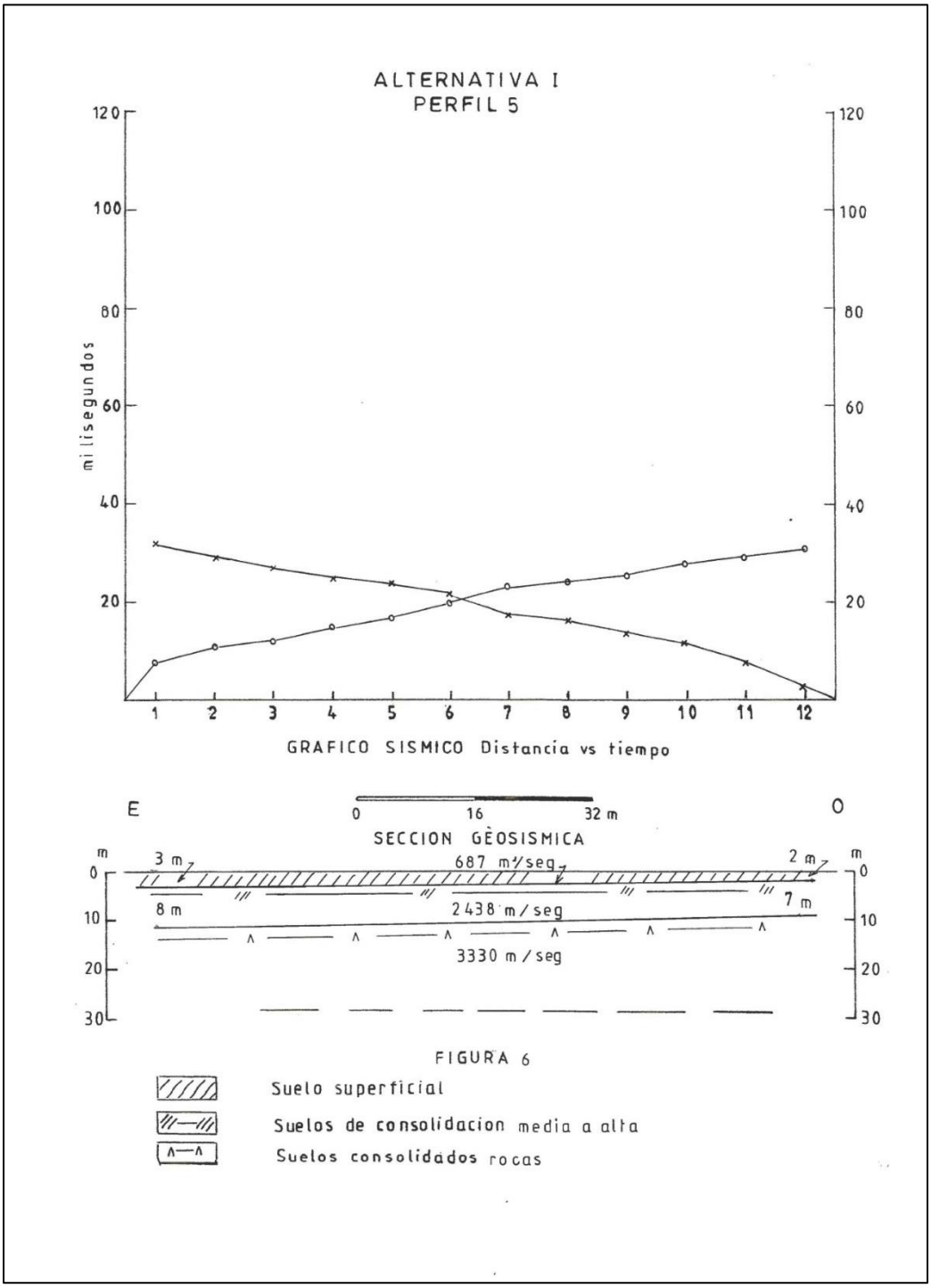
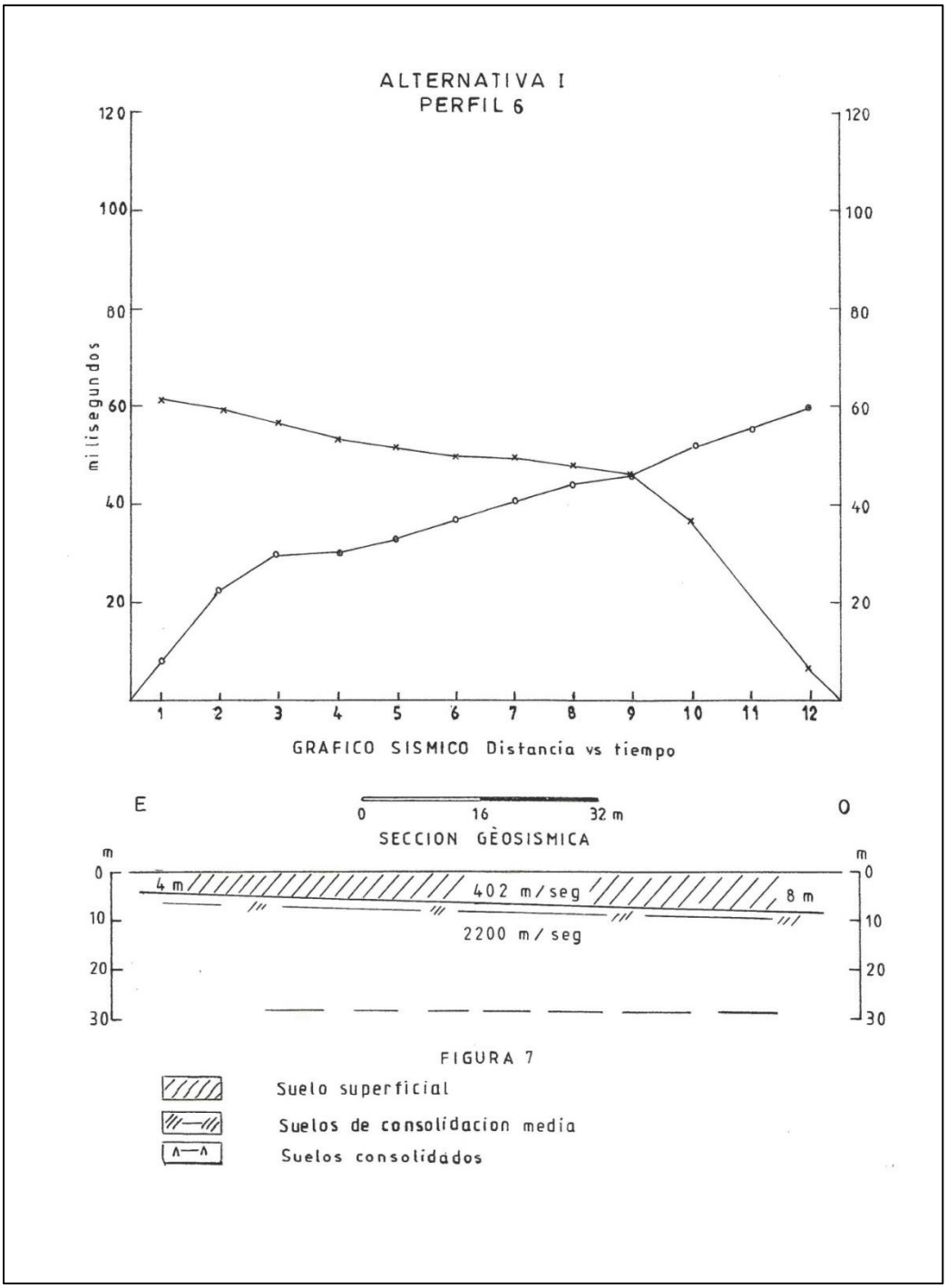



FIGURA 6

Fuente: SEGMI

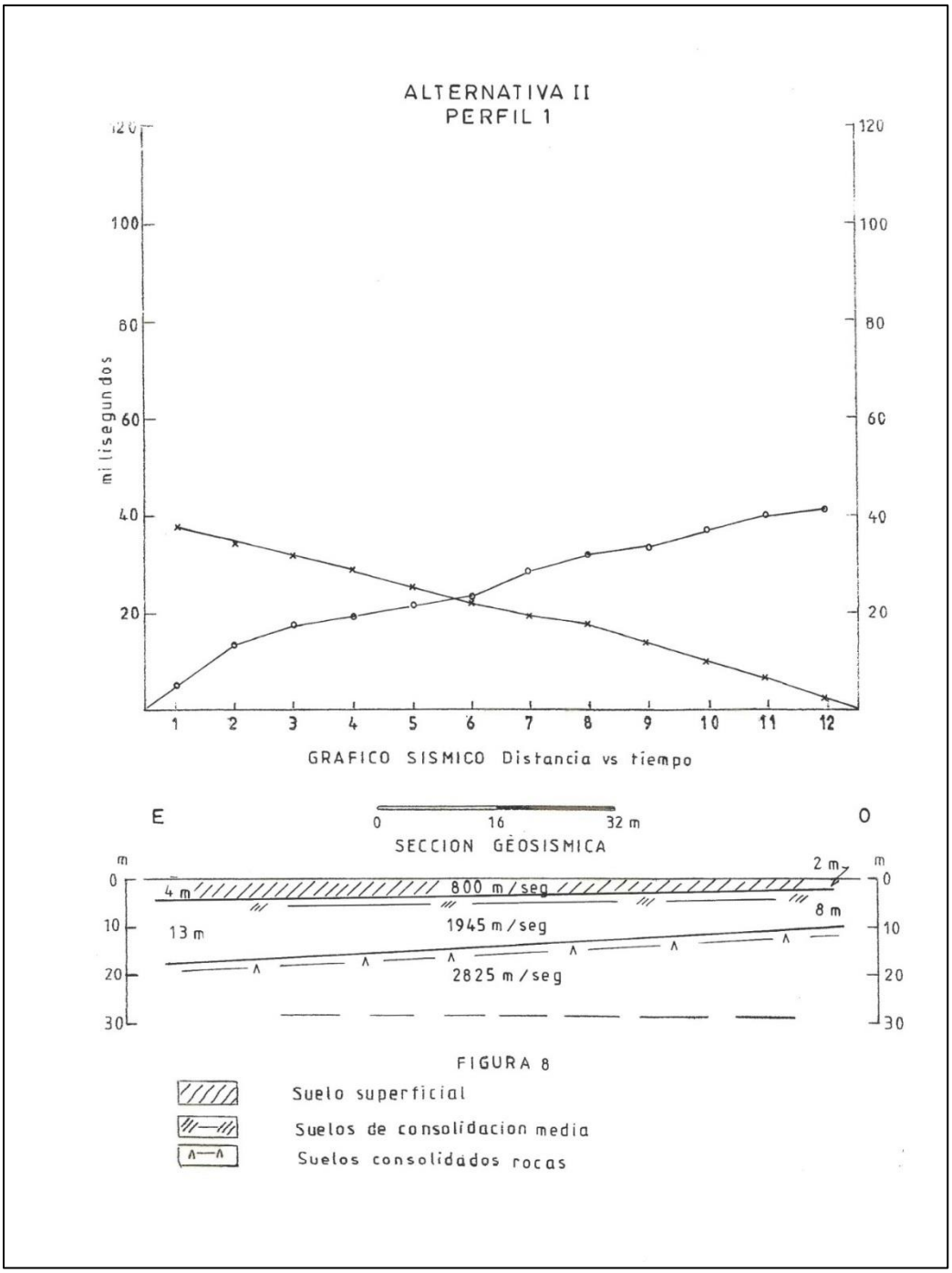

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 6.8.3-6
## ALTERNATIVA I, PERFIL 6



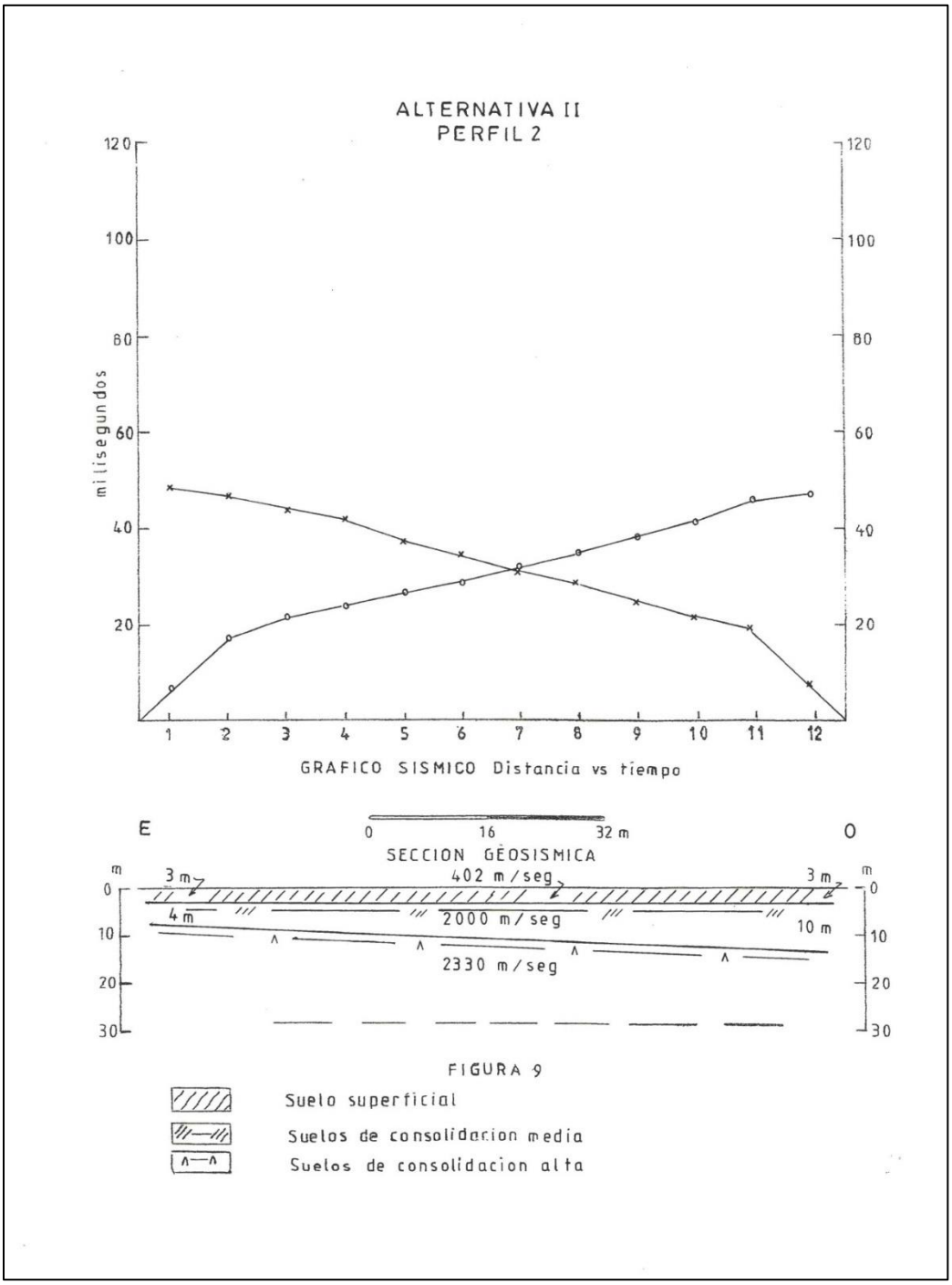
Fuente: SEGMI

## FIGURA 6.8.3-7
## ALTERNATIVA II, PERFIL 1



Fuente: SEGMI

## FIGURA 6.8.3-8
## ALTERNATIVA II, PERFIL 2



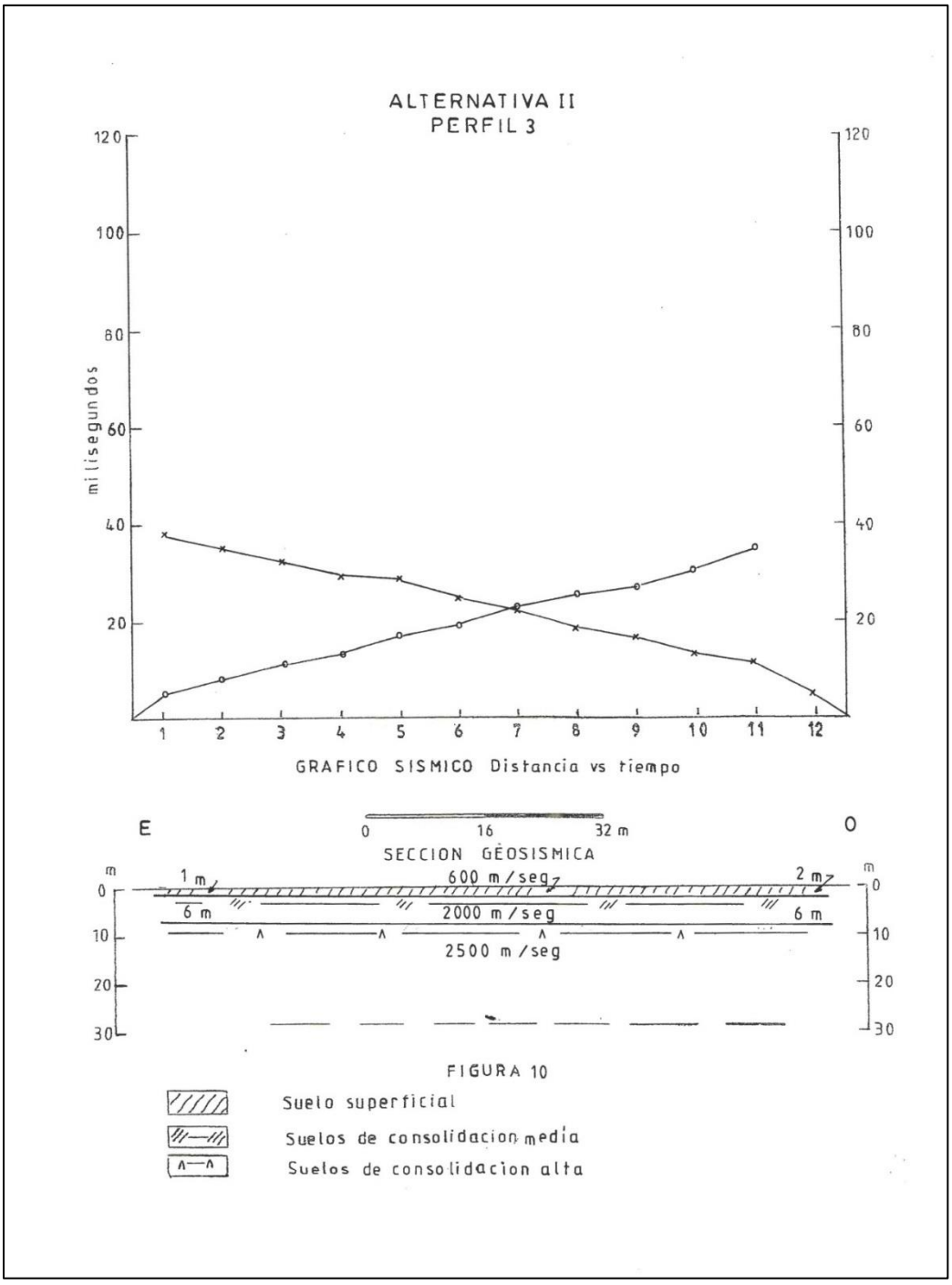


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: SEGMI

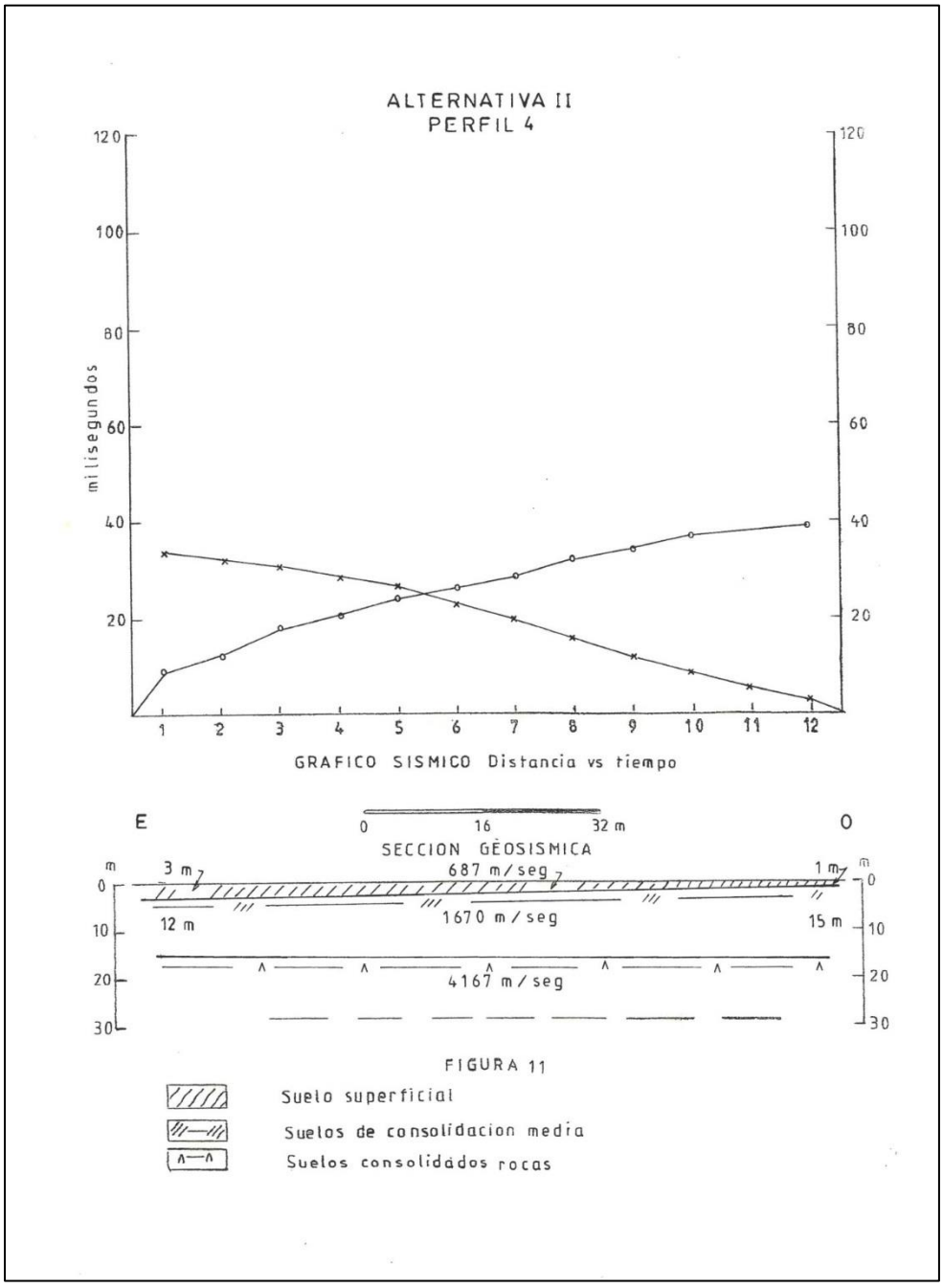

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 6.8.3-9
## ALTERNATIVA II, PERFIL 3



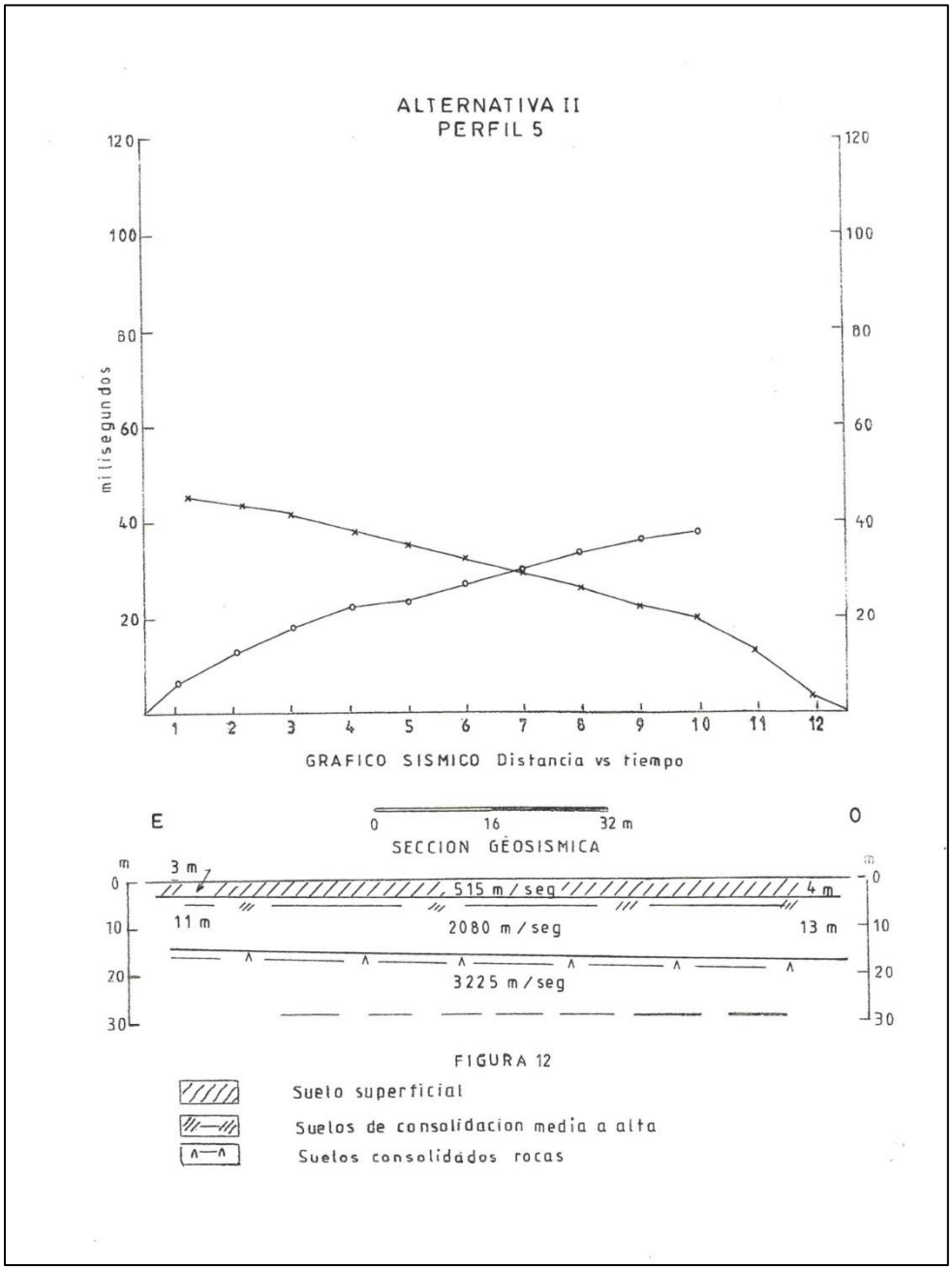
Fuente: SEGMI

## FIGURA 6.8.3-10
## ALTERNATIVA II, PERFIL 4



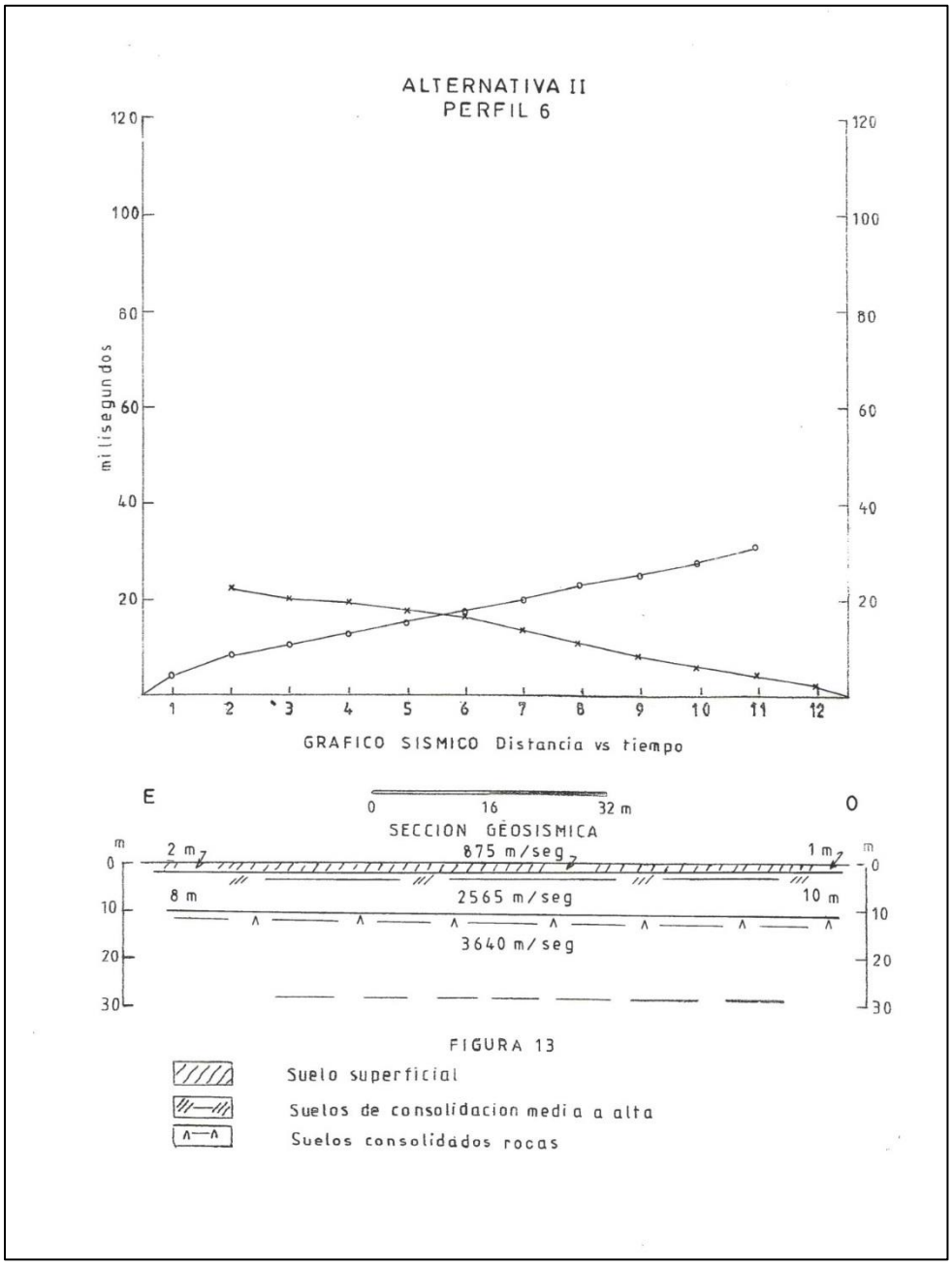
Fuente: SEGMI

**FIGURA 6.8.3-11**
**ALTERNATIVA II, PERFIL 5**




Fuente: SEGMI

## FIGURA 6.8.3-12
## ALTERNATIVA II, PERFIL 6




Fuente: SEGMI


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.8.3-13**
**ALTERNATIVA III, PERFIL 1**

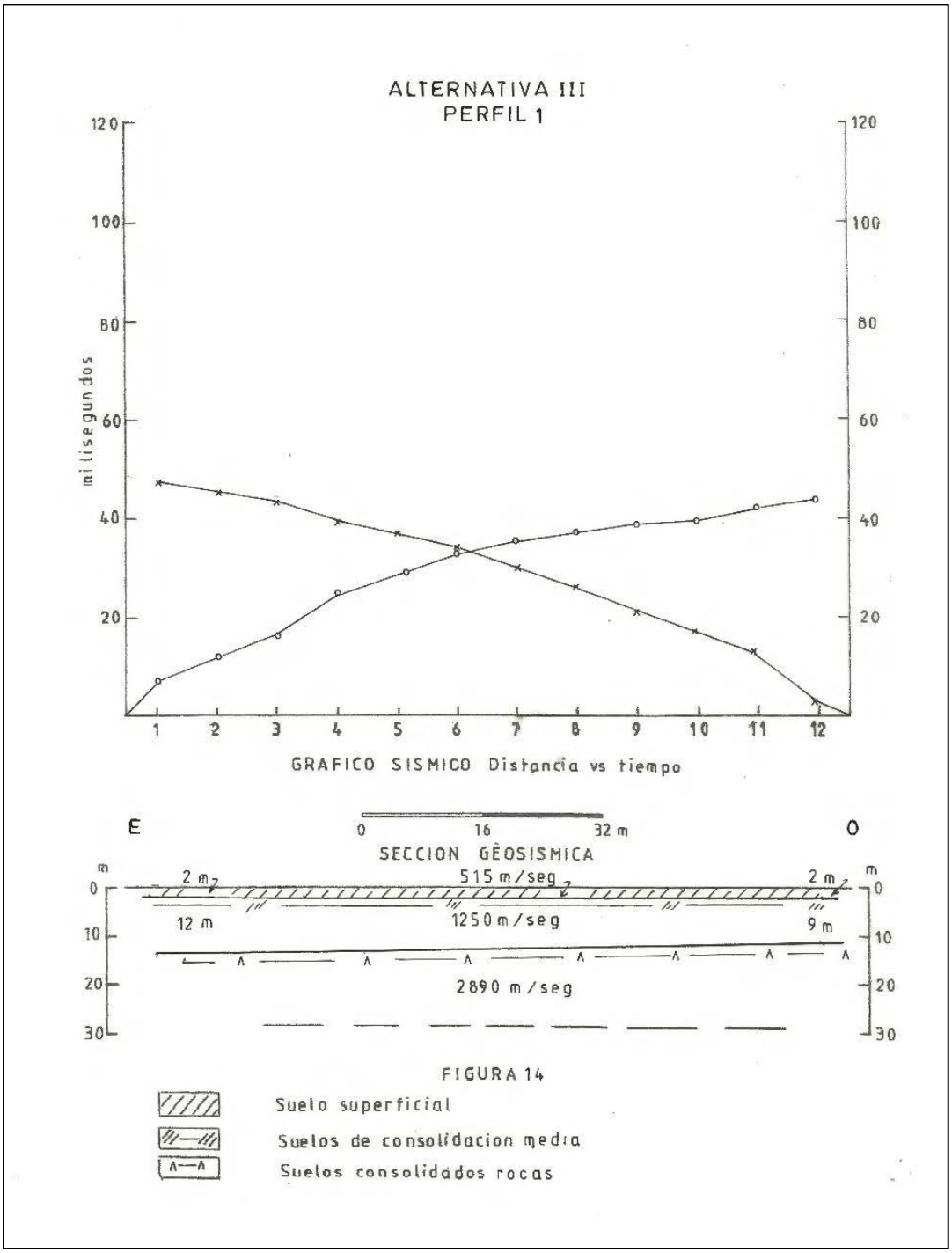
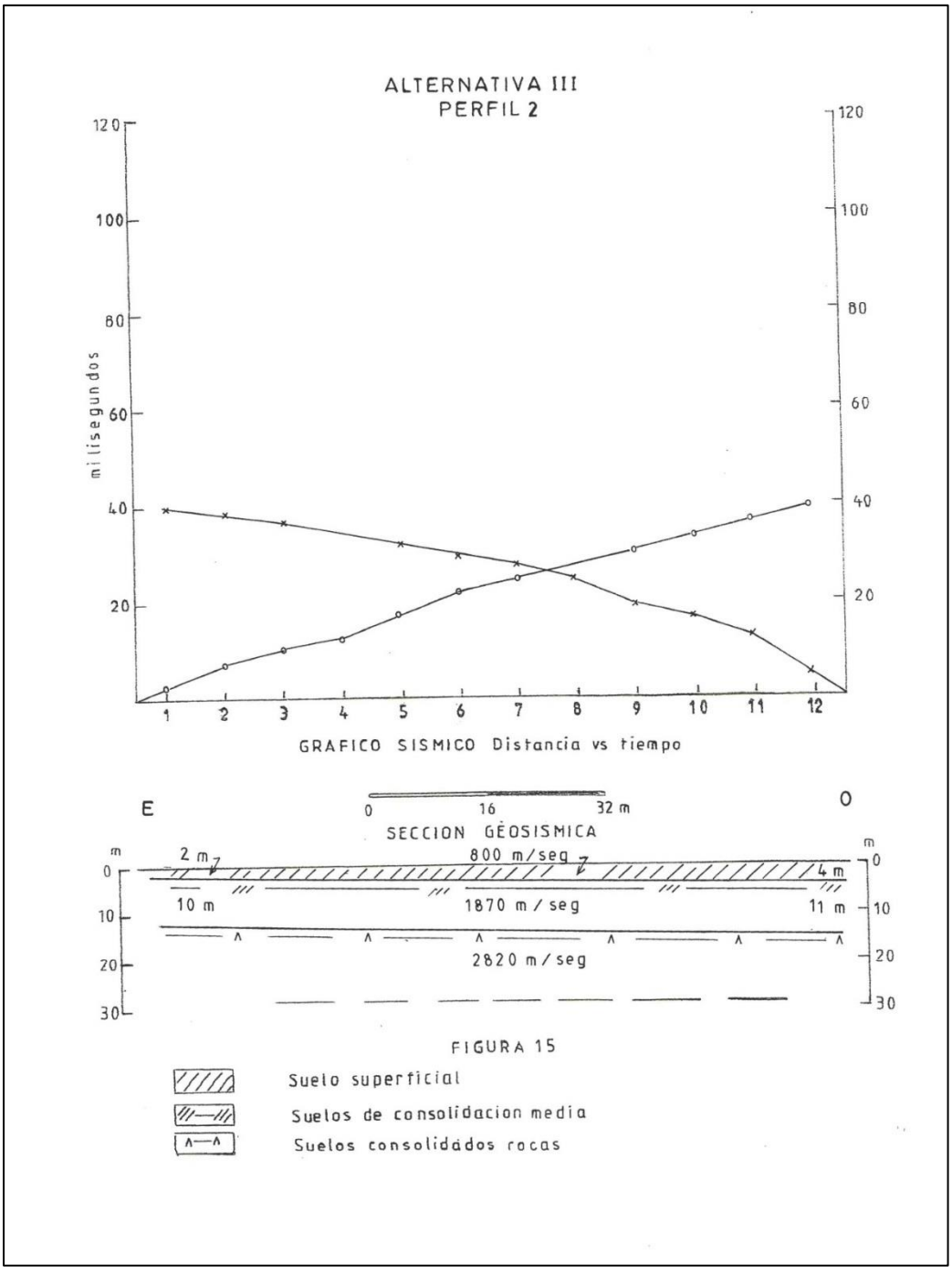



FIGURA 14

Fuente: SEGMI


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

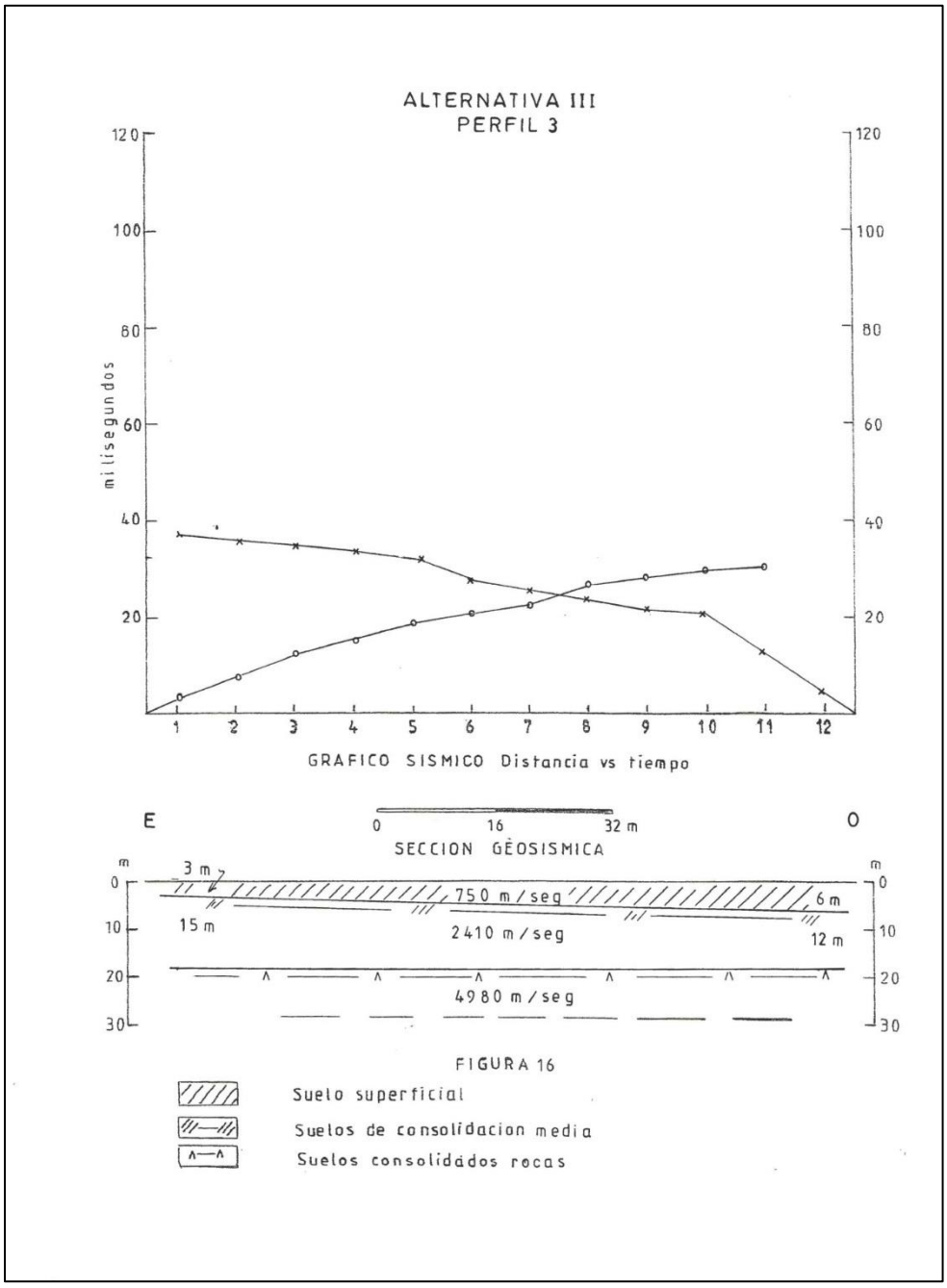
## FIGURA 6.8.3-14
## ALTERNATIVA III, PERFIL 2




Fuente: SEGMI

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 6.8.3-15
## ALTERNATIVA III, PERFIL 3




Fuente: SEGMI

**FIGURA 6.8.3-16**
**ALTERNATIVA III, PERFIL 4**

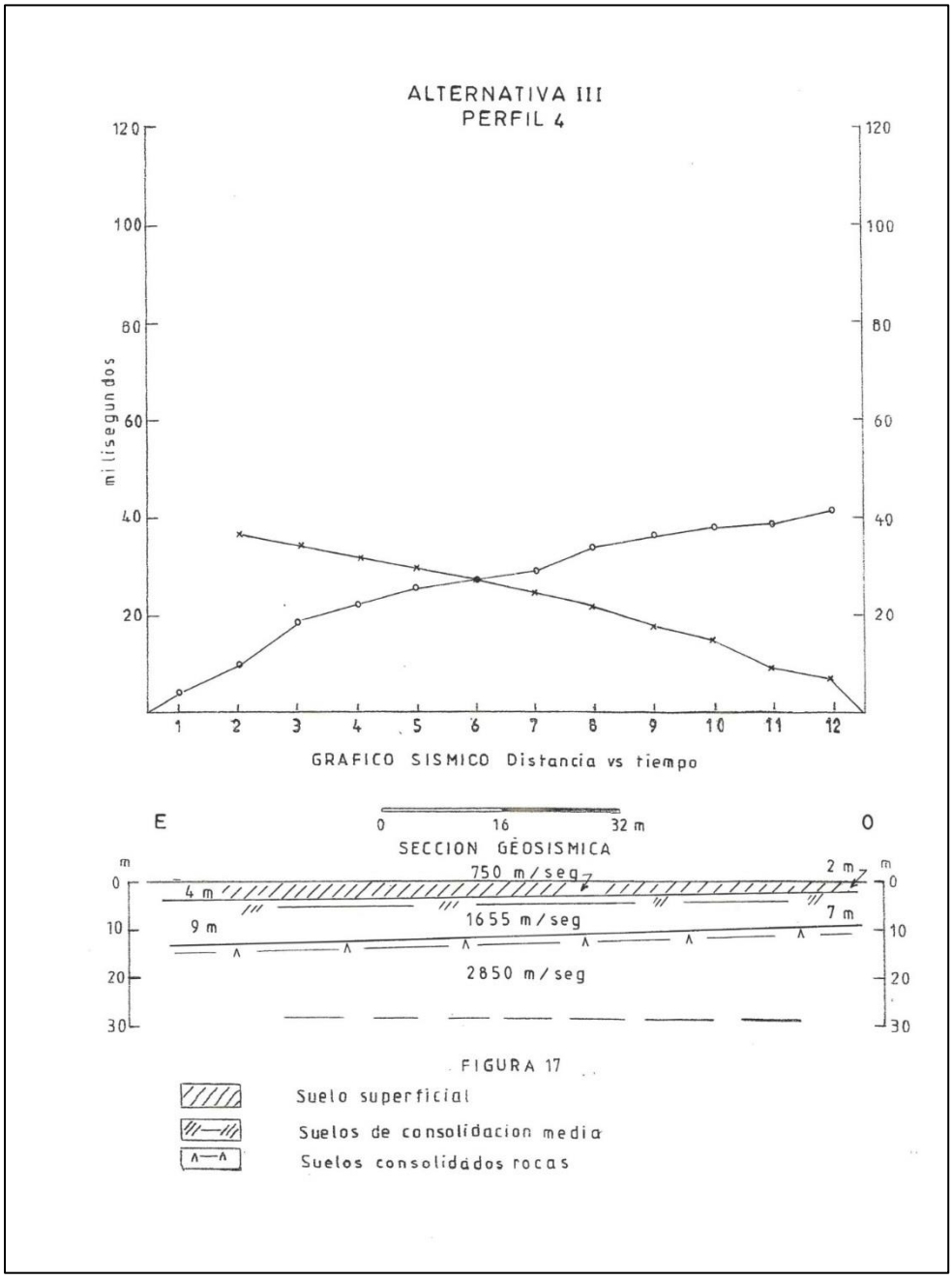
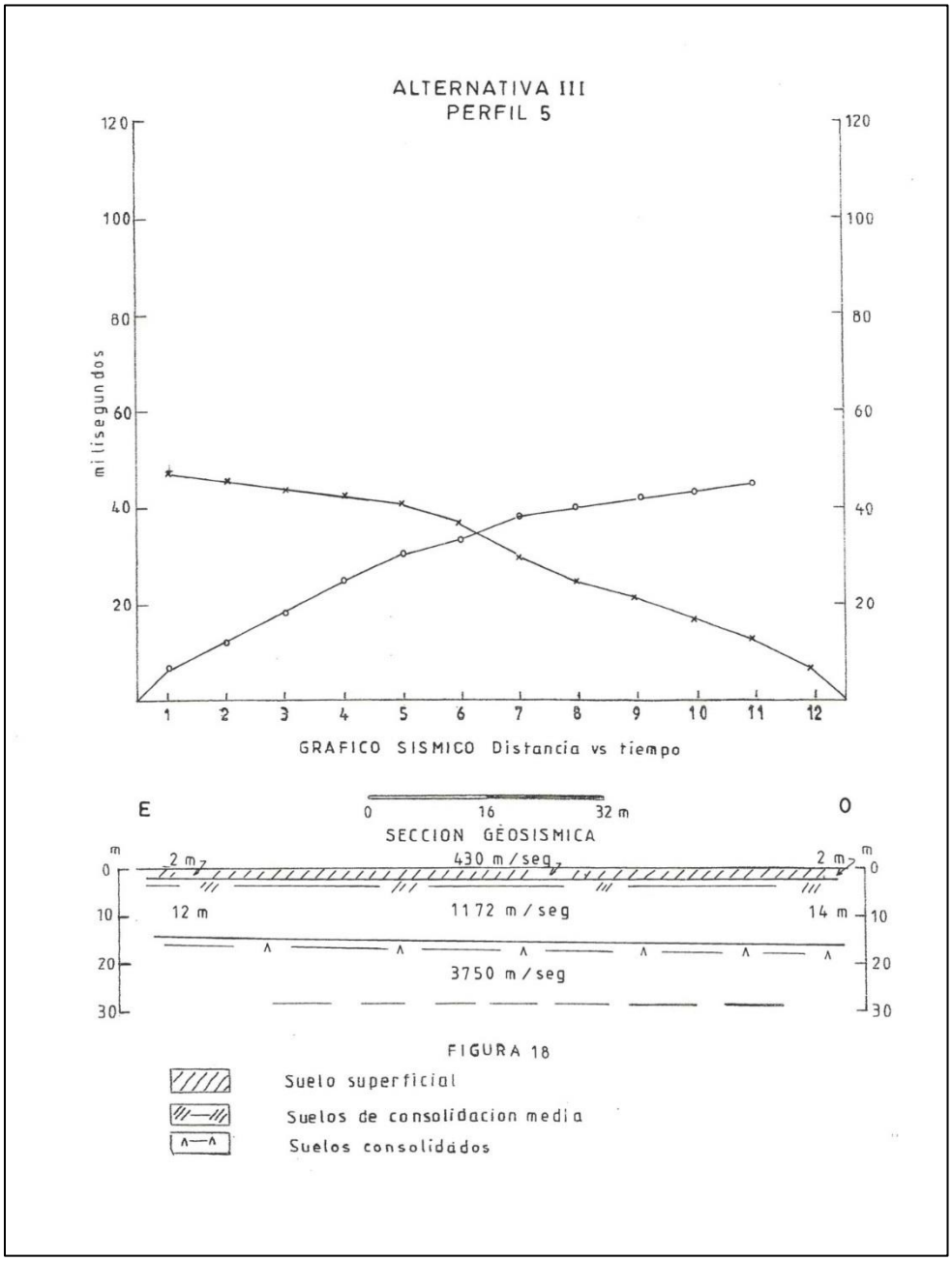



FIGURA 17

Fuente: SEGMI


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 6.8.3-17
## ALTERNATIVA III, PERFIL 5

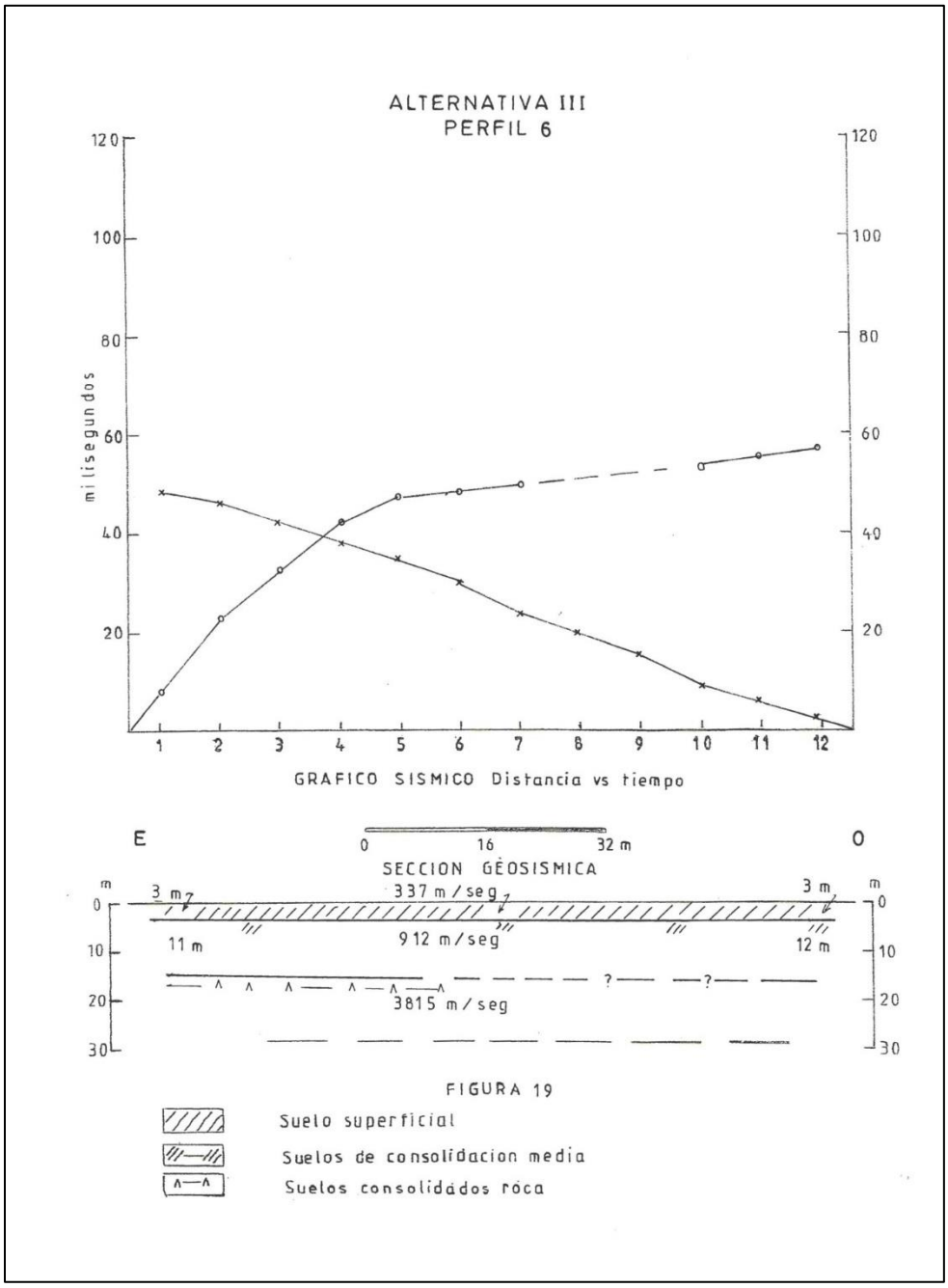



Fuente: SEGMI


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 6.8.3-18
## ALTERNATIVA III, PERFIL 6




Fuente: SEGMI


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

# 4. definición de Escenarios de Proyecto

## *4.1. Aspectos Generales*

Definidos los emplazamientos de los embalses, los tipos de muro y los sectores potenciales de riego, se continuó con la identificación de los escenarios posibles de proyecto que permiten determinar el tamaño óptimo del embalse.

## *4.2. Descripción de los Escenarios*

A continuación se describen los escenarios de proyecto elegidos como los más adecuados para cumplir con los objetivos de la consultoría, considerando entre otros aspectos, los recursos hídricos asignables al embalse, la capacidad de regulación y la ubicación de los distintos sectores de riego.

Los escenarios son los siguientes:

**Escenario 1:** Situación actual o sin proyecto.

**Escenario 2:** Embalse para satisfacer la demanda de riego del sector alto de la quebrada de Aroma (desde el sector de Pailca hasta Ariquida) y la potencial zona de riego que se ubica en las cercanías de la localidad de Huara. Este escenario se evaluará para la situación de calidad de agua actual y para una situación de calidad mejorada indicadas en el volumen agroeconómico y que se definen en el acápite siguiente.

Se proyecta la conducción de las aguas por tubería desde el sector de Ariquilda hasta el sector de Cerro Unitas para el abastecimiento de la nueva zona de riego, con una extensión de 44 km aproximadamente. El transporte se realizaría por medio de las conducciones Ariquilda – Curaña (ARI-CU) y Curaña – Cerro Unitas. (CU-C.U.).

Para este escenario, se contemplan las siguientes componentes de multipropósito:

- Generación hidroeléctrica al pie del Muro
- Control de Crecidas

## *4.3. Evaluación para Diferentes Situaciones de Calidad de Agua*

Se consideran dos situaciones de calidad de agua en el escenario Con Proyecto:


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Calidad Actual**: considera el actual escenario de calidad de agua utilizando los mismos cultivos y variedades de Situación Actual y Sin Proyecto, dada su adaptabilidad a las condiciones tóxicas existentes de salinidad, boro y arsénico para el desarrollo de la mayor parte de los cultivos. Se incorpora además la coliflor como representante de las escasas alternativas hortícolas que toleran estos niveles de salinidad a un máximo alcanzable de 50% de rendimiento potencial según FAO Irrigation and Drainage Papers, 1994, lo que merma significativamente el margen del cultivo. Este escenario es el que en rigor se debe considerar en Situación Con Proyecto.

- **Calidad Mejorada**: asume un escenario hipotético en que el agua entregada por el proyecto cumplirá con los estándares de calidad apropiados para riego y constituye una referencia de comparación en el marco hipotético que el agua fuese tratada. Se plantea así un escenario hipotético donde la calidad de agua, en su parámetro más restrictivo que es la conductividad eléctrica (Ce), no supere los 2,1 mmhos/cm, umbral de Ce planteado por FAO 29 Rev. 1 sobre el cual el potencial de rendimientos de las especies agrícolas en general baja del 75%. Se supone además un mejoramiento de la calidad del agua en sus niveles de boro existentes dado que como ya se mencionó, para el desarrollo de los cultivos es el factor más limitante. De esta manera se posibilita la incorporación de alternativas de cultivo en esta estructura y que los rendimientos de los ya presentes experimenten un aumento según su condición de adaptabilidad.

# 5. ESTUDIO AGROecoNÓMICO

## *5.1. introducción*

En este capítulo se presenta un resumen de los resultados del estudio agroeconómico realizado. Los resultados completos se presentan en el Volumen 3 del estudio del presente proyecto.

## *5.2. Área de Influencia y Sectores de Riego*

El área de influencia del presente estudio comprende los sitios posibles de regar aguas abajo del sector proyectado para la construcción del embalse, diferenciándose dos sectores de riego:

- **Sector 1:** Corresponde al valle de Aroma, desde la ubicación del muro del embalse hasta la zona de Curaña.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Sector 2:** Este sector se emplaza al sur de la Pampa del Tamarugal a 10 km de la ruta CH 15, Huara – Colchane. Actualmente en su totalidad sin actividad agrícola. Corresponde a la zona de expansión agrícola.

## *5.3. Aspectos Climáticos*

Las características agroclimáticas asociadas al área de estudio se describen en el Mapa Agroclimático de Chile del INIA (1989), en el cual se aprecia la influencia de los climas "Desierto de Altura" y "Desierto Subtropical Marino". De acuerdo a esta fuente bibliográfica los distritos agroclimáticos representativos del área corresponden al distrito "Refresco" (3.54) y distrito Copiapó (3.442-3.8).

Más recientemente, el año 2012 la Universidad de Chile presenta el Atlas Bioclimático de Chile, en el cual se describen las condiciones bioclimáticas que caracterizan el área de estudio, representadas por los distritos bioclimáticos I241 Ha71, M252 Ha71 y S241 Ha71.

Considerando que el Atlas Bioclimático de Chile del 2012 considera una actualización temporal de los antecedentes expuestos, con mediciones más precisas y una zonificación de los distritos con una representatividad más local que la expuesta por INIA en 1989, se ha considerado esta fuente bibliográfica para describir las condiciones bioclimáticas del área de estudio, las cuales se señalan a continuación:

- **Distrito I241 Ha71**: Representa agroclimáticamente el sector de emplazamiento del embalse. Se caracteriza por mantener un régimen térmico con una temperatura media anual de 12,3°C, siendo los meses más cálidos diciembre, enero y febrero, con temperaturas máximas que superan los 23°C; mientras los meses más fríos corresponden a julio y agosto con temperaturas mínimas de 1,5°C y 1,8°C respectivamente. La suma de temperaturas anuales base 10ºC es de 934,1 grados-días. En cuanto a las precipitaciones, estas resultan escasas, alcanzando los 17,9 mm anuales. Los meses más lluviosos corresponden a junio y julio, con precipitaciones medias mensuales de 3,1 y 6,0 mm respectivamente.

- **Distrito S241 Ha71:** Cubre las zonas de riego ubicadas en los poblados de Pailca, Cala cala y Ariquilda. Este distrito mantiene un regimen térmico caracterizado por una temperatura media anual de 14,8 ºC. Los meses de mayor temperatura se registran en diciembre, enero y febrero, con temperaturas sobre los 26 °C; mientras los meses más fríos corresponden a Junio, Julio y Agosto, con temperaturas que alcanzan los 2,8 °C. La precipitación media anual es de 4,8 mm, concentrandose esencialmente en los meses de junio y julio con precipitaciones medias mensuales de 1 y 2,2 mm respectivamente. Al igual que en el distrito anterior destaca los altos valores de evapotranspiración, en este caso con valor promedio anual de 1.304,5 mm, alcanzando un valor máximo de 133,3 mm el mes más cálido (enero).


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **M252 Ha 71:** Se ubica en el sector poniente del área de estudio, cubriendo parte de la Pampa del Tamarugal. En este distrito se mantiene un régimen térmico con una temperatura media anual más alta que en los anteriores distritos, alcanzando un valor de 16,3°C. Los meses más cálidos corresponden a diciembre, enero y febrero, con temperatura que sobrepasan levemente los 27°C. Las temperaturas más bajas se registran entre los meses de junio y agosto con temperaturas que van desde los 2,5°C y 3,3°C. Este distrito se caracteriza por una escasa precipitación, registrandose un valor medio anual de 2,7 mm, distribuidos entre los meses de mayo y septiembre, concentrándose el 48% de la precipitación media anual en el mes de julio.

Del análisis de la información anterior se puede inducir que el área de estudio desde el punto de vista agroclimático, presenta condiciones favorables para el establecimiento de una amplia gama de especies vegetales de interés agrícola, tanto de tipo anual como frutal.

## *5.4. Aspectos Agrológicos*

Los suelos que guardan relación con el área de interés para este estudio, son aquellos contenidos en las planicies sedimentarias aluvionales de clima desértico de la depresión intermedia, donde se inserta la unidad Pampa del Tamarugal.

La serie que representa el área de estudio corresponde a la serie Huara, la cual corresponde a suelos aluviales constituidos por materiales arenosos. Estos suelos mantienen las siguientes características a través de su perfil:

| | |
|---|---|
| 0 – 30 cm | Rosado blanquizco a rosado grisáceo (7.5 YR 8/2- 7.2 en seco), arcillo-limoso, friable; estructura laminar firme y fina dentro de este horizonte, moderadamente pegajoso y moderado a fuertemente plástico en húmedo. pH cercano a 8.0. |
| 30 – 70 cm | Rosado grisáceo (7.5 YR 7/2 en seco), arcillo-limoso firme, estructura laminar fina muy fuerte, ligeramente a muy fuertemente plástico cuando húmedo, límite inferior del horizonte difuso pH 8.0. |
| 70 cm y más | Material similar pero muy firme cuando seco (casi cementado), ligeros vestigios de raíces, reacción débil al agua oxigenada y pH 7.8. |

A partir del análisis de muestras de suelo tomadas en terreno, es posible señalar que los suelos del área de estudio pueden ser clasificados como suelos salinos sódicos y sódicos, asociándose también un carácter alcalino al registrarse valores de pH de 8 a 9.

De los análisis realizados se desprende además, que en la mayor parte de los suelos existe un desequilibrio iónico en el complejo de cambio del suelo, lo que limita la fertilidad y la estructura del suelo, aparte de generar toxicidad por exceso de sodio y deficiencias de calcio y magnesio.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Características comunes a estos suelos son también la gran cantidad de cloruros, la escasa presencia de materia orgánica y muy escasa capacidad de retención de humedad. Lo anterior debido principalmente al carácter arenoso de la textura de estos suelos.
Es posible de observar también que los niveles de boro y de cloruros presentes en todos los suelos muestreados, exceden por lejos los umbrales tolerables por los cultivos hortícolas y frutales, llegando a niveles de toxicidad que impiden la implementación de agricultura.

## *5.5. Diagnóstico de la Situación Actual Agropecuaria*

### 5.5.1. Listado de Agricultores y Estructura de la Propiedad Agrícola

El listado de los beneficiarios del proyecto, asociados a un listado de predios por sector de riego, se confeccionó en base a fuentes secundarias de información. Las propiedades agrícolas en cuestión se estratificaron en función de la superficie total de cada propiedad. Esta estratificación se realizó con el objeto de analizar y representar de la mejor forma la encuesta muestral y el posterior diagnóstico de las situaciones: actual, optimizada y futura o con proyecto.
En resumen, la estratificación adoptada es la siguiente:

- **Estrato de tamaño 1:** Predios de tamaño menor o igual a 1. Se caracterizan por ser predios de subsistencia.

- **Estrato de tamaño 2:** Predios de tamaño mayor a 1 ha y menor o igual a 5 ha. Corresponden a pequeños agricultores, los que mantienen una agricultura familiar campesina.

- **Estrato de tamaño 3:** Predios de tamaño mayor a 5 ha y menor o igual a 10 ha. Estos predios incluyen mayoritariamente a parcelas agrícolas.

- **Estrato de tamaño 4:** Predios de tamaño mayor a 10 ha. Son predios que se considerarán "grandes" para la zona.

En el Cuadro 8.5.1-1 se presenta la estratificación predial para el Sector 1, señalando número de predios y superficie física involucrada. La estratificación de los predios del Sector 2 para la situación Con Proyecto queda determinada por las posibilidades de expansión agrícola y los criterios para establecer la superficie de las Unidades Productivas Prediales (UPP) consideradas para esta zona de expansión agrícola (ver acápite 7.7).

**CUADRO 5.5.1-1**
**PREDIOS POR ESTRATO SECTOR 1**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| Estrato | Predios | | Superficie | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Nº | % | Total | | Promedio (ha) |
| | | | Ha | % | |
| **E1 (0 a 1 ha)** | 2 | 22,2 | 2,0 | 4,7 | 1,0 |
| **E2 (1 a 5 ha)** | 3 | 33,3 | 8,0 | 18,6 | 2,7 |
| **E3 (5 a 10 ha)** | 3 | 33,3 | 21,0 | 48,8 | 7,0 |
| **E4 (>10 ha)** | 1 | 11,1 | 12,0 | 27,9 | 12,0 |
| **Total** | **9** | **100,0** | **43,0** | **100,0** | **-** |

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes primarias.

### 5.5.2. Encuesta Agropecuaria Extendida

Para una completa caracterización de la situación actual agrícola, es necesario establecer una serie de atributos físicos, productivos, legales y económicos, asociados a los distintos tipos de agricultores existentes en el área de estudio. Para lograr este objetivo se ha implementado una encuesta extendida de tipo cuantitativa y cualitativa, la cual fusiona los contenidos metodológicos de la Encuesta Simple y los Estudios de Caso que normalmente se aplican en este tipo de estudios para indagar en los ámbitos señalados anteriormente. La encuesta abarco el 100% de los predios en el Sector 1 (9 predios) y 11 predios de la quebrada de Tarapacá, considerando estos últimos como referencia para establecer criterios de desarrollo futuros en una Situación con Proyecto.

### 5.5.3. Resultados Situación Actual Agropecuaria

La encuesta agropecuaria extendida resulta la base para realizar la caracterización económica del área en estudio. Una vez que los datos fueron recopilados en terreno, se procesaron y analizaron en gabinete, con lo cual se estableció la estructura de cultivos característica de la Situación Actual Agropecuaria, que a su vez, fue de utilidad para determinar los predios promedio para la caracterización económica (y posterior evaluación económica del proyecto). Por otra parte, el uso del suelo de la Situacion Actual (ver Cuadro 8.7.1-1), se obtuvo de la expansion de los resultados de la encuesta extendida.

La superficie total de riego se ha registrado en 20 ha, las cuales mantienen una seguridad de riego del 55,3%, en tanto la superficie para un 85% de riego alcanza las 5,6 ha.

Finalmente, para determinar los beneficios económicos se calcularon los costos indirectos y gastos generales para cada estrato y nivel tecnológico, abaracando diversos ambitos, tales como el pago de contribuciones, pago por servicios de mantenimientos de canales, electricidad, movilización, entre otros.

## *5.6. Situación Sin Proyecto*

Con la finalidad de establecer una base de análisis en orden a reconocer los costos e ingresos de los productores(as), para la evaluación de los escenarios de desarrollo de "Sin" y "Con" Proyecto, se han considerado algunos aspectos que caracterizan la Situación Actual para


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

confeccionar la presente Situación Sin Proyecto (SSP), la cual corresponde a un escenario futuro sin contemplar la construcción de obras civiles, pero que incorpora un conjunto de acciones tendientes a mejorar los procesos productivos de la zona, con recursos que no superan el 5% de las inversiones efectuadas en la Situación con Proyecto.
Resulta necesario destacar que las condiciones actuales del suelo y del agua para riego resultan sumamente restrictivas para el desarrollo agrícola, debido a que en ambos casos se registran altas concentración de sales y elementos traza como boro, cloruros y arsénico, limitando de forma significativa los rendimientos actuales de producción, como también la incorporación de nuevos cultivos de interés comercial en la zona de estudio.
En este contexto, se proponen cambios en Situación Sin Proyecto referidos sólo a mejoras incorporadas a un programa de manejo para cada cultivo, sin incurrir en inversiones mayores como implementación de infraestructura de riego tecnificado, habilitación de terrenos o mayores gastos indirectos, entre otros, ya que el potencial aumento de margen en estas condiciones, no sustenta tal nivel de inversiones. Producto de esto, se mantienen los mismos cultivos de Situación Actual sin modificación de su nivel tecnológico.
Entre los cambios producidos por efecto de la optimización de la situación actual, se deben mencionar los siguientes:

- Mejoría en el manejo de la explotación y de los rubros productivos desarrollados en ella.
- Optimización en la oportunidad de ejecución de las labores requeridas.
- Mejor uso de insumos, especialmente fertilizantes y otros.
- Acceso a la información de precios y mercados.

Se espera que el Programa de Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica impulse y oriente a los agricultores a mejorar estos aspectos.
Por otra parte, se espera que se produzcan leves incrementos en los rendimientos de los cultivos actuales, producto de la introducción de nuevas prácticas de manejo (aplicación oportuna de fertilizantes y pesticidas) y en las oportunidades de cosecha y comercialización.

## *5.7. Situación Con Proyecto*

### 5.7.1. Caracterización Productiva

En Situación Con Proyecto, se considera un mejoramiento de las condiciones actuales que enfrenta el área en estudio, a través de la ejecución y construcción de obras civiles para aumentar la eficiencia de uso del agua y dar satisfacción a la demanda hídrica de los cultivos en los próximos años.
Como ya se ha mencionado, las concentraciones de sales y ciertos elementos trazas presentes en Situación Actual condicionan las proyecciones futuras de la actividad agrícola. Esta condición se potencia con la práctica del riego, en especial del tecnificado, acumulándose las sales en superficie del suelo y afectando la adaptabilidad de distintas especies para ser utilizadas en la producción. Esto realza la importancia de contar con un suministro adecuado


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

de agua para riego, en cantidad y calidad, a fin de satisfacer las demandas de agua de los cultivos y realizar el lavado de suelos necesarios para disminuir los niveles de sales en el sistema.

En este contexto se plantean dos condiciones de evaluación para la Situación con Proyecto, dependiendo de la calidad de agua posible de obtener para riego con las alternativas de tratamiento señalas en el volumen de Ingeniería. Los escenarios en cuestión corresponden a:

**Calidad de Agua Actual:** Contempla la misma calidad de aguas que actualmente es posible medir en el cauce. Lo anterior tiene como consecuencia productiva, que se mantengan los mismo tipos de cultivos y variedades de la Situación Actual y Sin Proyecto, dada su adaptabilidad a las condiciones de toxicidad del agua y el suelo, incorporándose además el cultivo de coliflor como representante de las escasas alternativas hortícolas que toleran estos niveles de salinidad, pudiendo alcanzar un máximo del 50% de rendimiento potencial según FAO (1994).

**Calidad de Agua Mejorada:** Se asume un escenario hipotético en que el agua entregada por el proyecto cumplirá con estándares de calidad apropiados para riego, constituyendo una referencia de comparación con el Escenario 1. Se plantea así un escenario donde la calidad de agua, en su parámetro más restrictivo (conductividad eléctrica), no supere los 2,1 mmhos/cm, valor sobre el cual el potencial de rendimientos de las especies agrícolas en general baja del 75% según FAO (1994). Se supone además un mejoramiento de la calidad del agua en los niveles de boro existentes, lo que en conjunto permitir incorporar diferentes tipos de cultivos hortícolas favorables en cuanto a su adaptabilidad edafoclimática, y proyecciones de mercado.

Para ambas calidades de evaluación en el Sector 2, se calculó un tamaño de Unidades Productivas Prediales (UPP) que permitiera con la estructura de cultivos propuesta, superar al menos en un 20% el ingreso medio mensual de una familia tipo de la Región de Tarapacá ($949.262 según antecedentes INE, 2012), con lo cual se pretende incentivar la inmigración de agricultores a esta zona del área de estudio, la cual actualmente se encuentra deshabitada por grupos humanos. De esta forma, la estratificación de las UPP quedó establecida por predios de estrato E4 para una calidad de agua actual y predios de estrato E2 para la condición de agua tratada.

Los criterios básicos que se han utilizado para el diseño de la estructura productiva de las dos condiciones de Situación Con Proyecto, son los siguientes:

- Con agua tratada se contempla un cambio en la estructura productiva respecto de la Quebrada de Aroma, reemplazando un porcentaje importante de superficie de cultivos tradicionales por alternativas de especies o variedades de mayor rentabilidad.
- Se mantienen los cultivos de alfalfa y el maíz choclo de subsistencia. Con calidad de agua mejorada, se incorporan estos cultivos con variedades de potencial productivos más altos, asociándolo a un nivel tecnológico superior. Para la calidad actual de agua se logra sólo un 10% de aumento


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

de rendimientos respecto de Situación Sin Proyecto, como producto de la mejor transferencia tecnológica y mecanismos de apoyo asociados.

- Basado en experiencia agrícola en sectores aledaños, en la adaptabilidad edafoclimaticas de los cultivos y la calidad de agua analizada, no se incorporan especies frutícolas.
- Para la calidad mejorada se espera un proceso de mayor gradualidad en la incorporación de nuevos cultivos y tecnologías de riego, en especial para el Sector 2.
- Se contempla en ambas condiciones de calidad un mejoramiento en la eficiencia del manejo agronómico de recursos respecto de los cultivos de Situación Actual, en especial en mano de obra, maquinaria e insumos.
- La optimización en los cultivos también considera la implementación de nuevos programas de fertilización (con la incorporación de fertilizantes fosforados y potásicos) y programas fitosanitarios adecuados, en el contexto agrícola de la zona, reforzando el control de enfermedades, plagas y malezas.
- Se incorpora mecanización de labores desde preparación de suelos, cosecha y enfardado, aplicación de agroquímicos etc., reduciendo el uso de mano de obra en estos ítems, en especial considerando el alto costo de este recurso en la zona respecto de los cultivos de Situación Actual en ambas condiciones de calidad de agua.
- Con la calidad actual, como ya se mencionó, se incluye sólo la coliflor representando hortalizas con tolerancia a sales pero con tope de 50% de su rendimiento por calidad de agua, por lo que su manejo expresado en la ficha de cultivo deja de ser tan completo como con calidad mejorada y se estructura acorde al rendimiento.
- Las labores de manejo varían en directa proporción al cambio de rendimiento en los cultivos que vienen de Situación Actual, en especial la cosecha en maíz choclo. Además se añaden jornadas de mano de obra y maquinaria en algunas labores acorde al aumento de dosis y de productos recomendados en las dos condiciones de calidad de aguas.
- Las características tecnológicas de la estructura de cultivos propuesta en el con calidad mejorada se sustenta en la incorporación de un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica, con la correspondiente inversión en tecnología asociado a programas crediticios y de subsidios al desarrollo. Se aplica una fuerte campaña de capacitación de agricultores en el escenario mejorado, logrando a través del uso masivo de riego por cintas en hortalizas un eficiente uso del recurso hídrico disponible, haciendo viable la expansión del área de estudio con agricultura de un


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

nivel alto. Con calidad actual la transferencia y asistencia se limitan a dar apoyo a los cultivos tradicionales con la gran limitante de la calidad del agua logrando sólo un leve aumento en los rendimientos.

- Con calidad mejorada el desarrollo agropecuario planteado debe sustentarse en el tiempo. Para ello, se debe asegurar que la incorporación de las nuevas superficies se realice en un lapso de tiempo determinado previamente y que los cultivos se establezcan bajo parámetros técnicos de calidad y productividad acordes al proyecto.
- Se consideran cambios en la gestión del negocio agrícola. En este contexto, los productores debiesen regularizar su situación tributaria y de tenencia, con el propósito de establecer una mejor plataforma de negociación con los intermediarios y a acceder a beneficios estatales (asistencia, subsidios y crédito).
- El nivel tecnológico futuro del productor agrícola promedio, deberá ser acorde a los estándares de los agricultores de zonas semejantes al área de estudio (en términos agroclimáticos) y que se destaquen en su producción agrícola. Con calidad mejorada los programas complementarios estarán constituidos por la asistencia técnica a los productores, la capacitación a los trabajadores y el apoyo crediticio para los planes de inversión y necesidades de capital de operación de las empresas, en especial para las pequeñas.
- Es necesario que las organizaciones de usuarios de aguas en el área de estudio, apoyen en forma participativa la redefinición de las normas de operación del sistema de riego y sus obras, con el objeto de generar una eficiente distribución del agua en ambas condiciones.

El Cuadro 8.7.1-1 muestra el uso del suelo en la Situación Actual y Situación Con Proyecto para ambas condiciones de evaluación, contemplando la alternativa de embalse de mayor volumen (15 $hm^3$).

**CUADRO 5.7.1-1**
**COMPARACIÓN USO DEL SUELO ACTUAL Y FUTURO**
**TOTAL ÁREA DE ESTUDIO**

| Cultivo | SA - SSP | | SCP Calidad de agua Actual | | SCP Calidad de agua mejorada | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ha | % | Ha | % | Ha | % |
| Maíz Choclo | 15,3 | 76,26 | 187,90 | 72,91 | 0,00 | 0,00 |
| Coliflor | - | - | 35,71 | 13,86 | - | - |
| Lechuga - Maíz Choclo | - | - | - | - | 47,26 | 20,60 |

| Cultivo | SA - SSP | | SCP Calidad de agua Actual | | SCP Calidad de agua mejorada | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ha | % | Ha | % | Ha | % |
| Betarraga - Coliflor | - | - | - | - | 33,24 | 14,49 |
| Lechuga -Tomate | - | - | - | - | 45,08 | 19,65 |
| Cebolla - Melón | - | - | - | - | 34,31 | 14,96 |
| Lechuga - Acelga - Lechuga | - | - | - | - | 56,08 | 24,44 |
| Alfalfa | 4,7 | 23,74 | 34,10 | 13,23 | 13,45 | 5,86 |
| **Total Productiva** | **20,0** | **100,00** | **257,70** | **100,00** | **229,40** | **100,00** |
| | | | | | | |
| Riego con Agua Superficial | 20,0 | 46,51 | 257,70 | 96,36 | 229,40 | 93,78 |
| Indirectamente productiva | 0,0 | 0,0 | 1,25 | 0,47 | 6,72 | 2,75 |
| Sin uso potencialmente Regable | 14,5 | 33,72 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Improductiva | 8,5 | 19,77 | 8,50 | 3,18 | 8,50 | 3,47 |
| **Suma Total (ha)** | **43,0** | **100,00** | **267,45** | **100,00** | **244,62** | **100,00** |

Fuente: Elaboración propia.

### 5.7.2. Costos Indirectos y Gastos Generales

Los gastos indirectos generales corresponden a los mismos aspectos presentados en la Situación Actual, con un aumento porcentual dependiendo los supuestos de la Situación Con Proyecto.

### 5.7.3. Inversiones en Tecnificación del Riego

La incorporación de métodos tecnificados de riego en Situación Actual Optimizada y Futura con Proyecto implica una inversión para adquirir estos sistemas. De esta forma, los métodos de riego que son factibles de desarrollar en la zona de estudio corresponden a los siguientes, según el tipo de cultivo:

- Riego por Aspersión en Alfalfa.
- Riego por cinta en hortalizas.

### 5.7.4. Habilitación de Terrenos

La habilitación de terrenos en situación con proyecto está destinada por una parte, a dar uso productivo a sitios sin actividad agrícola que presentan actualmente potencial para este fin, y por otra, para habilitar terrenos que actualmente se destinan para cultivar, pero que requieren mejores condiciones para renovar o cambiar el cultivo actual.
En términos generales se han considerado los costos de habilitación asociado a enmiendas físicas (descompactación, volteo del suelo, despedradura, etc.) y enmiendas de


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

mejoramiento en las propiedades físico químicas del suelo con la aplicación de materia orgánica (guano) y sulfato de calcio.

### 5.7.5. Programa de Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica

La proposición de mejoramiento está basada en un programa para obtener los mejores beneficios económicos derivados de la posesión de recursos hídricos seguros en el tiempo que permitan una adecuada satisfacción de la demanda.

Se establece una asesoría técnica permanente para los agricultores de la zona. Esta asesoría logra enseñar e introducir mejoras en cuanto al manejo del riego, manejo de nuevas técnicas de producción cultivos (especies, variedades, épocas de siembra, uso de insumos, épocas de aplicación, etc.) y gestión administrativa (contabilidad, comercialización, etc.).

El programa cuenta con la participación directa de un Ingenieros Agrónomos quien debe dirigir y coordinar la totalidad del programa, promoviendo y aplicando el programa directamente a los agricultores beneficiados.

El Ingeniero Agrónomo jefe del programa debe dirigir y coordinar la totalidad del programa, promoviendo y aplicando el programa directamente a los agricultores beneficiados.

Se propone implementar Módulos Demostrativos o MODEMS, los cuales corresponden a unidades de trabajo ubicadas en las propiedades de los agricultores (beneficiarios del programa), donde se efectúan diversas actividades destinadas a validar nuevas tecnologías y a entregar transferencia a los agricultores. Además se establecerán Unidades de Validación o UVAL corresponden a parcelas en donde se establecen y demuestran tecnologías de riego aplicadas a sistemas productivos alternativos. Del trabajo efectuado en las UVAL se espera que se produzcan respuestas tanto en el corto como en el mediano plazo.

Las diferencias entre los programas en Situación Sin Proyecto y la Situación Con Proyecto radican esencialmente en la magnitud de la intervención, ya que con proyecto se estima que será necesario un equipo profesional más numeroso en el transcurso del tiempo, atendiendo además a la implementación de más actividades de transferencia tecnológica y divulgación. Además los cultivos propuestos en los MODEMS tendrán un énfasis de exploración en explotaciones tecnificadas.

## *5.8. Demandas de Agua*

Se realizó para la Situación Actual, Sin Proyecto y Con Proyecto una descripción de las demandas de agua para uso agrícola en base a la caracterización productiva predial. Para obtener la demanda bruta total del área regada se utilizó información correspondiente a evapotranspiración potencial, coeficientes de cultivo, precipitación efectiva, demandas netas de agua de riego, eficiencias y tasas de riego por cultivo, además de los requerimientos de lixiviación para lavado de suelos.

Como conclusión se desprende que la demanda bruta total anual en Situación Con Proyecto y una calidad agua igual a la actual (con un volumen útil de embalse de 15 $hm^3$), sería de 1,13 $hm^3$ en el Sector 1, valor mayor que los 0,85 $hm^3$ demandados en la Situación Actual, debido principalmente a la gran cantidad de volúmenes de agua requeridos para lixiviación, y 6,07


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

hm$^3$ en el caso del Sector 2. En el Escenario de aguas tratadas la demanda bruta tienden a disminuir en el Sector 1, debido esencialmente al mejoramiento de la eficiencia de riego, alcanzando valores de demandas brutas totales anuales de 0,91 hm$^3$, mientras en el Sector 2 este valor alcanza los 5,56 hm$^3$.

En el Cuadro 8.8-1 se presentan las demandas bruta final para ambas condiciones de calidad en cada sector y los valores totales para el área de estudio.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 5.8-1**
**DEMANDA BRUTA FINAL EN ÁREA DE ESTUDIO**

| Ítem | Demanda Bruta + Lixiviación (m3/mes) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SA-SSP (Sector 1) | Calidad Actual de Agua | | | Calidad de Agua Mejorada | | |
| | | Sector 1 | Sector 2 | Total | Sector 1 | Sector 2 | Total |
| **Abr** | 75.354 | 53.483 | 152.059 | 205.542 | 41.175 | 256.370 | 297.545 |
| **May** | 57.189 | 49.992 | 197.894 | 247.886 | 54.528 | 348.706 | 403.234 |
| **Jun** | 16.497 | 46.925 | 223.181 | 270.106 | 61.013 | 412.875 | 473.888 |
| **Jul** | 15.783 | 46.359 | 251.978 | 298.337 | 69.220 | 479.951 | 549.172 |
| **Ago** | 16.511 | 47.714 | 241.042 | 288.756 | 62.909 | 422.197 | 485.107 |
| **Sep** | 53.942 | 88.897 | 534.234 | 623.131 | 57.601 | 366.448 | 424.049 |
| **Oct** | 72.190 | 112.490 | 682.346 | 794.836 | 72.091 | 441.817 | 513.908 |
| **Nov** | 91.690 | 140.337 | 845.106 | 985.443 | 104.224 | 623.792 | 728.015 |
| **Dic** | 104.842 | 167.556 | 1.005.497 | 1.173.053 | 128.335 | 744.623 | 872.958 |
| **Ene** | 119.680 | 176.312 | 1.052.953 | 1.229.265 | 119.297 | 666.669 | 785.965 |
| **Feb** | 117.705 | 142.843 | 791.936 | 934.779 | 103.824 | 592.606 | 696.430 |
| **Mar** | 104.956 | 56.790 | 100.350 | 157.140 | 36.543 | 209.629 | 246.172 |
| **TOTAL** | **846.340** | **1.129.697** | **6.078.576** | **7.208.273** | **910.760** | **5.565.682** | **6.476.443** |

Fuente: Elaboración propia.

## *5.9. Beneficios Agrícolas Netos del Proyecto*

### 5.9.1. Determinación de Flujos Agroeconómicos

A partir de los margenes brutos por hectárea (unitarios) multiplicados por la estructura de cultivos de la superficie de riego y descontando los gastos indirectos generales considerados, es posible obtener los margenes netos en la Situación Sin Proyecto y Con Proyecto.

Es importante recordar que, tanto para la Situación Sin Proyecto y la Situación Con Proyecto, el año cero (0) del horizonte de evaluación corresponde a la Situación Actual Agropecuaria.

Para evaluar el efecto de la seguridad de riego en el rendimiento y por ende en el margen económico de los diferentes cultivos, se utiliza la metodología propuesta en FAO 33, la cual utiliza funciones de producción a partir de la disponibilidad de agua.

Las funciones utilizadas son las propuestas por Doorenbos y Kassan (FAO 33, 1979), obtenidas en forma experimental. En ellas se presenta la relación entre el rendimiento y la evapotranspiración en términos relativos, lo que permite utilizar estas ecuaciones en diferentes condiciones edafoclimáticas.

Es importante recordar que en la Situación Con Proyecto se presentan los resultados para ambos escenarios de mejoramiento de calidad de aguas maximizando la superficie de riego con 85% de seguridad de riego, dados los recursos hídricos disponibles. Posteriormente, en


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

la evaluación económica final del proyecto, se estima el beneficio agroeconómico derivado de la construcción de distintas alternativas y tamaños de obras, con el fin de determinar el óptimo económico de las mismas.

El beneficio económico neto que la construcción de las obras puede traer a la actividad agrícola se obtiene de la sustracción entre los flujos de beneficios de la Situación Con Proyecto y Sin Proyecto. Los resultados, evaluando un embalse de 15 $hm^3$ de volumen útil, se presentan para la condición de calidad de aguas actual en los Cuadros 7.9.1-1 y 7.9.1-2 a precios de mercado y sociales, respectivamente. De manera análoga, los resultados para la condición de calidad de aguas mejorada se muestran en los Cuadros 7.9.1-3 y 7.9.1-4.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 5.9.1-1
## FLUJO DE BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO
## PRECIOS DE MERCADO (VALORES EN $)
## CALIDAD ACTUAL - VOLUMEN ÚTIL 15 Hm$^3$

| Año | Situación Sin Proyecto | | | | | | | Situación Con Proyecto | | | | | | | Flujo Neto |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Margen Bruto | Costos Indirectos | Tecnificación del Riego | Habilitación de Suelos | Asistencia Técnica y TT | Organización de Usuarios | Margen Neto | Margen Bruto | Costos Indirectos | Tecnificación del Riego | Habilitación de Suelos | Asistencia Técnica y TT | Organización de Usuarios | Margen Neto | |
| **0** | 10.198.497 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.201.014 | 10.198.497 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.201.014 | 0 |
| **1** | 14.466.234 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 5.588.912 | 26.144.266 | 1.521.231 | 0 | 19.323.019 | 16.132.277 | 3.300.000 | -14.132.260 | -19.721.172 |
| **2** | 14.817.602 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 5.940.280 | 51.314.070 | 2.543.265 | 0 | 42.169.837 | 5.975.102 | 3.300.000 | -2.674.134 | -8.614.414 |
| **3** | 15.275.125 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 6.397.803 | 79.060.518 | 3.677.856 | 0 | 50.252.666 | 5.975.102 | 3.300.000 | 15.854.894 | 9.457.091 |
| **4** | 15.871.705 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 6.994.384 | 141.176.507 | 6.020.555 | 0 | 113.103.386 | 5.975.102 | 3.300.000 | 12.777.464 | 5.783.080 |
| **5** | 16.090.845 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.093.362 | 191.518.924 | 7.828.794 | 0 | 111.840.889 | 5.975.102 | 3.300.000 | 62.574.140 | 47.480.778 |
| **6** | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 213.956.823 | 8.702.096 | 0 | 88.593.780 | 5.975.102 | 3.300.000 | 107.385.845 | 92.257.718 |
| **7** | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 234.217.438 | 9.524.475 | 0 | 95.641.380 | 0 | 3.300.000 | 125.751.582 | 110.623.456 |
| **8** | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 254.478.053 | 10.346.855 | 0 | 102.957.480 | 0 | 3.300.000 | 137.873.718 | 122.745.592 |
| **9** | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 254.478.053 | 10.346.855 | 0 | 73.161.000 | 0 | 3.300.000 | 167.670.198 | 152.542.072 |
| **10** | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 257.856.226 | 10.346.855 | 0 | 73.161.000 | 0 | 3.300.000 | 171.048.372 | 155.920.245 |
| **11** | 14.369.784 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.372.300 | 257.856.226 | 10.346.855 | 0 | 73.161.000 | 0 | 3.300.000 | 171.048.372 | 157.676.071 |
| **12** | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 256.167.139 | 10.346.855 | 0 | 73.161.000 | 0 | 3.300.000 | 169.359.285 | 154.231.158 |
| **13** | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 254.478.053 | 10.346.855 | 0 | 73.161.000 | 0 | 3.300.000 | 167.670.198 | 152.542.072 |
| **14** | 7.028.085 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.030.601 | 254.478.053 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 240.831.198 | 234.800.597 |
| **15** | 2.839.597 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.842.114 | 249.855.404 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 236.208.550 | 234.366.436 |
| **16** | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 212.058.902 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 198.412.047 | 183.283.921 |
| **17** | 12.308.641 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.311.157 | 32.890.749 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 19.243.894 | 7.932.737 |
| **18** | 12.766.607 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.769.123 | -34.570.075 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | -48.216.930 | -59.986.053 |
| **19** | 13.190.243 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.192.760 | 85.167.107 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 71.520.252 | 59.327.493 |
| **20** | 13.870.779 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.873.295 | 257.856.226 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 244.209.372 | 231.336.077 |
| **21** | 3.022.543 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.025.060 | 253.776.265 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 240.129.411 | 238.104.351 |
| **22** | 11.768.968 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.771.485 | 256.167.139 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 242.520.285 | 231.748.800 |
| **23** | 8.800.767 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.803.284 | 254.478.053 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 240.831.198 | 233.027.914 |
| **24** | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 254.478.053 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 240.831.198 | 225.703.072 |
| **25** | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 257.856.226 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 244.209.372 | 229.081.245 |
| **26** | 12.151.820 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.154.337 | 257.856.226 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 244.209.372 | 233.055.035 |
| **27** | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 256.167.139 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 242.520.285 | 227.392.158 |
| **28** | 12.113.353 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.115.869 | 254.478.053 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 240.831.198 | 229.715.329 |
| **29** | 5.672.138 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.674.654 | 253.759.979 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 240.113.124 | 235.438.470 |
| **30** | 15.955.015 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.957.532 | 257.856.226 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 244.209.372 | 229.251.840 |

Nota: Precios referidos a marzo de 2013.
Fuente: Elaboración propia.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 5.9.1-2
## FLUJO DE BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO
## PRECIOS SOCIALES (VALORES EN $)
## CALIDAD ACTUAL - VOLUMEN ÚTIL 15 Hm$^3$

| Año | Situación Sin Proyecto | | | | | | | Situación Con Proyecto | | | | | | | Flujo Neto |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Margen Bruto | Costos Indirectos | Tecnificación del Riego | Habilitación de Suelos | Asistencia Técnica y TT | Organización de Usuarios | Margen Neto | Margen Bruto | Costos Indirectos | Tecnificación del Riego | Habilitación de Suelos | Asistencia Técnica y TT | Organización de Usuarios | Margen Neto | |
| **0** | 14.907.905 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.910.421 | 14.907.905 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.910.421 | 0 |
| **1** | 18.997.464 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 10.120.142 | 32.766.450 | 1.521.231 | 0 | 19.323.019 | 16.132.277 | 3.300.000 | -7.510.077 | -17.630.219 |
| **2** | 19.005.621 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 10.128.299 | 61.783.449 | 2.543.265 | 0 | 42.169.837 | 5.975.102 | 3.300.000 | 7.795.245 | -2.333.054 |
| **3** | 18.941.755 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 10.064.434 | 93.564.691 | 3.677.856 | 0 | 50.252.666 | 5.975.102 | 3.300.000 | 30.359.067 | 20.294.633 |
| **4** | 19.030.091 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 10.152.769 | 165.038.459 | 6.020.555 | 0 | 113.103.386 | 5.975.102 | 3.300.000 | 36.639.416 | 26.486.647 |
| **5** | 19.044.768 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.047.284 | 222.761.397 | 7.828.794 | 0 | 111.840.889 | 5.975.102 | 3.300.000 | 93.816.612 | 75.769.328 |
| **6** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 248.774.113 | 8.702.096 | 0 | 88.593.780 | 5.975.102 | 3.300.000 | 142.203.135 | 124.147.372 |
| **7** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 272.527.018 | 9.524.475 | 0 | 95.641.380 | 0 | 3.300.000 | 164.061.162 | 146.005.399 |
| **8** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 296.279.922 | 10.346.855 | 0 | 102.957.480 | 0 | 3.300.000 | 179.675.588 | 161.619.825 |
| **9** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 296.279.922 | 10.346.855 | 0 | 73.161.000 | 0 | 3.300.000 | 209.472.068 | 191.416.305 |
| **10** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 299.741.971 | 10.346.855 | 0 | 73.161.000 | 0 | 3.300.000 | 212.934.117 | 194.878.354 |
| **11** | 17.297.420 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16.299.937 | 299.741.971 | 10.346.855 | 0 | 73.161.000 | 0 | 3.300.000 | 212.934.117 | 196.634.180 |
| **12** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 298.010.947 | 10.346.855 | 0 | 73.161.000 | 0 | 3.300.000 | 211.203.092 | 193.147.329 |
| **13** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 296.279.922 | 10.346.855 | 0 | 73.161.000 | 0 | 3.300.000 | 209.472.068 | 191.416.305 |
| **14** | 9.955.721 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.958.238 | 296.279.922 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 282.633.068 | 273.674.830 |
| **15** | 5.767.234 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.769.750 | 291.741.149 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 278.094.295 | 273.324.544 |
| **16** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 253.944.647 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 240.297.792 | 222.242.029 |
| **17** | 15.236.278 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.238.794 | 74.734.556 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 61.087.702 | 46.848.908 |
| **18** | 15.694.243 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.696.760 | 7.231.795 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | -6.415.060 | -21.111.820 |
| **19** | 16.117.880 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.120.396 | 126.968.977 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 113.322.122 | 98.201.726 |
| **20** | 16.798.415 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.800.932 | 299.741.971 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 286.095.117 | 270.294.185 |
| **21** | 5.950.180 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.952.696 | 295.662.010 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 282.015.156 | 277.062.460 |
| **22** | 14.696.605 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.699.121 | 298.010.947 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 284.364.092 | 270.664.971 |
| **23** | 11.728.404 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.730.920 | 296.279.922 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 282.633.068 | 271.902.148 |
| **24** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 296.279.922 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 282.633.068 | 264.577.305 |
| **25** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 299.741.971 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 286.095.117 | 268.039.354 |
| **26** | 15.079.457 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.081.973 | 299.741.971 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 286.095.117 | 272.013.144 |
| **27** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 298.010.947 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 284.364.092 | 266.308.329 |
| **28** | 15.040.989 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.043.506 | 296.279.922 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 282.633.068 | 268.589.562 |
| **29** | 8.599.774 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.602.291 | 295.561.848 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 281.914.994 | 274.312.703 |
| **30** | 18.882.652 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.885.169 | 299.741.971 | 10.346.855 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 286.095.117 | 268.209.948 |

Nota: Precios referidos a marzo de 2013.
Fuente: Elaboración propia.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 5.9.1-3
## FLUJO DE BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO
## PRECIOS DE MERCADO (VALORES EN $)
## CALIDAD MEJORADA - VOLUMEN ÚTIL 15 Hm$^3$

| Año | Situación Sin Proyecto | | | | | | | Situación Con Proyecto | | | | | | | Flujo Neto |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Margen Bruto | Costos Indirectos | Tecnificación del Riego | Habilitación de Suelos | Asistencia Técnica y TT | Organización de Usuarios | Margen Neto | Margen Bruto | Costos Indirectos | Tecnificación del Riego | Habilitación de Suelos | Asistencia Técnica y TT | Organización de Usuarios | Margen Neto | |
| 0 | 10.198.497 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.201.014 | 10.198.497 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.201.014 | 0 |
| 1 | 14.466.234 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 5.588.912 | 62.038.093 | 5.266.274 | 53.613.704 | 23.341.795 | 19.542.490 | 3.300.000 | -43.026.171 | -48.615.083 |
| 2 | 14.817.602 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 5.940.280 | 99.825.537 | 5.689.507 | 41.580.727 | 26.201.624 | 7.353.147 | 3.300.000 | 15.700.533 | 9.760.253 |
| 3 | 15.275.125 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 6.397.803 | 184.959.281 | 6.665.259 | 92.820.397 | 55.045.254 | 7.353.147 | 3.300.000 | 19.775.226 | 13.377.423 |
| 4 | 15.871.705 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 6.994.384 | 253.268.117 | 7.585.210 | 74.322.665 | 61.317.021 | 7.353.147 | 3.300.000 | 99.390.075 | 92.395.691 |
| 5 | 16.090.845 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.093.362 | 358.169.054 | 9.057.681 | 114.349.511 | 90.533.331 | 7.353.147 | 3.300.000 | 133.575.384 | 118.482.022 |
| 6 | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 485.825.969 | 10.935.698 | 138.415.466 | 119.252.872 | 7.353.147 | 3.300.000 | 206.568.787 | 191.440.661 |
| 7 | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 638.614.332 | 13.292.748 | 164.855.454 | 152.650.540 | 7.353.147 | 3.300.000 | 297.162.443 | 282.034.317 |
| 8 | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 748.946.975 | 14.950.306 | 120.080.539 | 158.519.628 | 7.353.147 | 3.300.000 | 444.743.356 | 429.615.230 |
| 9 | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 823.800.195 | 16.055.344 | 80.053.693 | 159.454.158 | 0 | 3.300.000 | 564.937.000 | 549.808.873 |
| 10 | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 860.948.635 | 16.607.863 | 40.026.846 | 154.195.633 | 0 | 3.300.000 | 646.818.293 | 631.690.166 |
| 11 | 14.369.784 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.372.300 | 898.097.076 | 17.160.383 | 40.026.846 | 160.388.689 | 0 | 3.300.000 | 677.221.158 | 663.848.857 |
| 12 | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 898.653.415 | 17.160.383 | 0 | 131.129.527 | 0 | 3.300.000 | 747.063.505 | 731.935.379 |
| 13 | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 897.540.737 | 17.160.383 | 0 | 123.861.127 | 0 | 3.300.000 | 753.219.227 | 738.091.100 |
| 14 | 7.028.085 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.030.601 | 898.097.076 | 17.160.383 | 0 | 123.861.127 | 0 | 3.300.000 | 753.775.566 | 747.744.965 |
| 15 | 2.839.597 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.842.114 | 863.958.539 | 17.160.383 | 0 | 123.861.127 | 0 | 3.300.000 | 719.637.029 | 717.794.915 |
| 16 | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 898.097.076 | 17.160.383 | 0 | 123.861.127 | 0 | 3.300.000 | 753.775.566 | 738.647.439 |
| 17 | 12.308.641 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.311.157 | 898.653.415 | 17.160.383 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 878.193.032 | 866.881.875 |
| 18 | 12.766.607 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.769.123 | 699.647.640 | 17.160.383 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 679.187.258 | 667.418.134 |
| 19 | 13.190.243 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.192.760 | 637.193.603 | 17.160.383 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 616.733.220 | 604.540.461 |
| 20 | 13.870.779 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.873.295 | 898.097.076 | 17.160.383 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 877.636.693 | 864.763.398 |
| 21 | 3.022.543 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.025.060 | 859.157.429 | 17.160.383 | 53.613.704 | 0 | 0 | 3.300.000 | 785.083.342 | 783.058.282 |
| 22 | 11.768.968 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.771.485 | 898.653.415 | 17.160.383 | 41.580.727 | 0 | 0 | 3.300.000 | 836.612.305 | 825.840.821 |
| 23 | 8.800.767 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.803.284 | 897.540.737 | 17.160.383 | 92.820.397 | 0 | 0 | 3.300.000 | 784.259.957 | 776.456.674 |
| 24 | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 898.097.076 | 17.160.383 | 74.322.665 | 0 | 0 | 3.300.000 | 803.314.028 | 788.185.902 |
| 25 | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 898.097.076 | 17.160.383 | 114.349.511 | 0 | 0 | 3.300.000 | 763.287.182 | 748.159.056 |
| 26 | 12.151.820 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.154.337 | 898.097.076 | 17.160.383 | 138.415.466 | 0 | 0 | 3.300.000 | 739.221.228 | 728.066.891 |
| 27 | 16.125.610 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.128.126 | 898.653.415 | 17.160.383 | 164.855.454 | 0 | 0 | 3.300.000 | 713.337.578 | 698.209.452 |
| 28 | 12.113.353 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.115.869 | 897.540.737 | 17.160.383 | 120.080.539 | 0 | 0 | 3.300.000 | 756.999.815 | 745.883.946 |
| 29 | 5.672.138 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.674.654 | 797.013.026 | 17.160.383 | 80.053.693 | 0 | 0 | 3.300.000 | 696.498.950 | 691.824.296 |
| 30 | 15.955.015 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.957.532 | 898.097.076 | 17.160.383 | 40.026.846 | 0 | 0 | 3.300.000 | 837.609.847 | 822.652.315 |

Nota: Precios referidos a marzo de 2013.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: Elaboración propia.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 5.9.1-4
## FLUJO DE BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO
## PRECIOS SOCIALES (VALORES EN $)
## CALIDAD MEJORADA - VOLUMEN ÚTIL 15 Hm$^3$

| Año | Situación Sin Proyecto | | | | | | | Situación Con Proyecto | | | | | | | Flujo Neto |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Margen Bruto | Costos Indirectos | Tecnificación del Riego | Habilitación de Suelos | Asistencia Técnica y TT | Organización de Usuarios | Margen Neto | Margen Bruto | Costos Indirectos | Tecnificación del Riego | Habilitación de Suelos | Asistencia Técnica y TT | Organización de Usuarios | Margen Neto | |
| **0** | 14.907.905 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.910.421 | 14.907.905 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.910.421 | 0 |
| **1** | 18.997.464 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 10.120.142 | 75.276.682 | 5.266.274 | 53.613.704 | 23.341.795 | 19.542.490 | 3.300.000 | -29.787.582 | -39.907.724 |
| **2** | 19.005.621 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 10.128.299 | 119.514.539 | 5.689.507 | 41.580.727 | 26.201.624 | 7.353.147 | 3.300.000 | 35.389.535 | 25.261.236 |
| **3** | 18.941.755 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 10.064.434 | 219.590.015 | 6.665.259 | 92.820.397 | 55.045.254 | 7.353.147 | 3.300.000 | 54.405.959 | 44.341.525 |
| **4** | 19.030.091 | 997.484 | 0 | 0 | 7.879.838 | 0 | 10.152.769 | 299.521.402 | 7.585.210 | 74.322.665 | 61.317.021 | 7.353.147 | 3.300.000 | 145.643.360 | 135.490.590 |
| **5** | 19.044.768 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.047.284 | 422.928.607 | 9.057.681 | 114.349.511 | 90.533.331 | 7.353.147 | 3.300.000 | 198.334.937 | 180.287.653 |
| **6** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 573.775.483 | 10.935.698 | 138.415.466 | 119.252.872 | 7.353.147 | 3.300.000 | 294.518.301 | 276.462.538 |
| **7** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 754.747.902 | 13.292.748 | 164.855.454 | 152.650.540 | 7.353.147 | 3.300.000 | 413.296.013 | 395.240.250 |
| **8** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 885.741.156 | 14.950.306 | 120.080.539 | 158.519.628 | 7.353.147 | 3.300.000 | 581.537.537 | 563.481.774 |
| **9** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 974.390.192 | 16.055.344 | 80.053.693 | 159.454.158 | 0 | 3.300.000 | 715.526.997 | 697.471.234 |
| **10** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 1.018.431.810 | 16.607.863 | 40.026.846 | 154.195.633 | 0 | 3.300.000 | 804.301.468 | 786.245.705 |
| **11** | 17.297.420 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16.299.937 | 1.062.473.428 | 17.160.383 | 40.026.846 | 160.388.689 | 0 | 3.300.000 | 841.597.510 | 825.297.573 |
| **12** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 1.063.039.229 | 17.160.383 | 0 | 131.129.527 | 0 | 3.300.000 | 911.449.319 | 893.393.556 |
| **13** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 1.061.907.628 | 17.160.383 | 0 | 123.861.127 | 0 | 3.300.000 | 917.586.118 | 899.530.355 |
| **14** | 9.955.721 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.958.238 | 1.062.473.428 | 17.160.383 | 0 | 123.861.127 | 0 | 3.300.000 | 918.151.918 | 909.193.680 |
| **15** | 5.767.234 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.769.750 | 1.028.334.892 | 17.160.383 | 0 | 123.861.127 | 0 | 3.300.000 | 884.013.381 | 879.243.631 |
| **16** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 1.062.473.428 | 17.160.383 | 0 | 123.861.127 | 0 | 3.300.000 | 918.151.918 | 900.096.155 |
| **17** | 15.236.278 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.238.794 | 1.063.039.229 | 17.160.383 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 1.042.578.846 | 1.028.340.052 |
| **18** | 15.694.243 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.696.760 | 864.014.531 | 17.160.383 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 843.554.149 | 828.857.389 |
| **19** | 16.117.880 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.120.396 | 801.569.955 | 17.160.383 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 781.109.573 | 765.989.176 |
| **20** | 16.798.415 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.800.932 | 1.062.473.428 | 17.160.383 | 0 | 0 | 0 | 3.300.000 | 1.042.013.046 | 1.026.212.114 |
| **21** | 5.950.180 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.952.696 | 1.023.533.781 | 17.160.383 | 53.613.704 | 0 | 0 | 3.300.000 | 949.459.694 | 944.506.998 |
| **22** | 14.696.605 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.699.121 | 1.063.039.229 | 17.160.383 | 41.580.727 | 0 | 0 | 3.300.000 | 1.000.998.119 | 987.298.998 |
| **23** | 11.728.404 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.730.920 | 1.061.907.628 | 17.160.383 | 92.820.397 | 0 | 0 | 3.300.000 | 948.626.849 | 937.895.928 |
| **24** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 1.062.473.428 | 17.160.383 | 74.322.665 | 0 | 0 | 3.300.000 | 967.690.381 | 949.634.618 |
| **25** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 1.062.473.428 | 17.160.383 | 114.349.511 | 0 | 0 | 3.300.000 | 927.663.534 | 909.607.771 |
| **26** | 15.079.457 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.081.973 | 1.062.473.428 | 17.160.383 | 138.415.466 | 0 | 0 | 3.300.000 | 903.597.580 | 889.515.607 |
| **27** | 19.053.246 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.055.763 | 1.063.039.229 | 17.160.383 | 164.855.454 | 0 | 0 | 3.300.000 | 877.723.392 | 859.667.629 |
| **28** | 15.040.989 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.043.506 | 1.061.907.628 | 17.160.383 | 120.080.539 | 0 | 0 | 3.300.000 | 921.366.706 | 907.323.200 |
| **29** | 8.599.774 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.602.291 | 961.389.378 | 17.160.383 | 80.053.693 | 0 | 0 | 3.300.000 | 860.875.303 | 853.273.012 |
| **30** | 18.882.652 | 997.484 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.885.169 | 1.062.473.428 | 17.160.383 | 40.026.846 | 0 | 0 | 3.300.000 | 1.001.986.199 | 984.101.031 |

Nota: Precios referidos a marzo de 2013.

Fuente: Elaboración propia.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 5.9.2. Balance de Mano de Obra

Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola en un escenario con proyecto versus la situación actual. Esta se desprende de las fichas técnico-económicas de cada cultivo para ambas situaciones, calculándose el empleo permanente en base al promedio de jornadas de los seis meses con menos uso de mano de obra en el área de estudio dividido por 24 jornadas mensuales.

Las jornadas temporales anuales en tanto, son el resultado de la sustracción entre las jornadas totales y jornadas permanentes anuales.

En los Cuadros 8.9-1 y 8.9-2 se presenta un balance de la generación de empleo agrícola permanente y temporal entre la Situación Actual y la Situación Con Proyecto, evaluada para la alternativa de máximo volumen de embalse. En los cuadros señalados se destaca el crecimiento anual de 15,5% y 30,8% del empleo permanente masculino mensual para la calidad actual y mejorada, respectivamente, presentándose una participación del género femenino sólo en las labores temporales.

**CUADRO 5.9-1**
**GENERACIÓN DE EMPLEO AGRICOLA TOTAL AREA**
**CALIDAD ACTUAL – VOLUMEN ÚTIL 15 hm$^3$**

| Tipo Jornada | SA | SCP | Variación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Nº | % Total | % Anual |
| **Jornadas Anuales Totales** | | | | | |
| Masculinas | 896 | 9.105 | 8.209 | 916,6% | 15,6% |
| Femeninas | 153 | 2.187 | 2.035 | 1.334,1% | 18,1% |
| **Jornadas Anuales Permanentes** | | | | | |
| Masculinas | 43 | 2.862 | 2.819 | 6.586,9% | 30,0% |
| Femeninas | 0 | 0 | 0 | - | - |
| **Empleos Mensuales Permanentes** | | | | | |
| Masculinos | 1 | 10 | 9 | 900,0% | 15,5% |
| Femeninas | 0 | 0 | 0 | - | - |
| **Jornadas Anuales Temporales** | | | | | |
| Masculinas | 853 | 6.243 | 5.390 | 632,0% | 13,2% |
| Femeninas | 153 | 2.187 | 2.035 | 1.334,1% | 18,1% |

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 5.9-2**
**GENERACIÓN DE EMPLEO AGRICOLA TOTAL AREA**
**CALIDAD MEJORADA- VOLUMEN ÚTIL 15 hm³**

| Tipo Jornada | SA | SCP | Variación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Nº | % Total | % Anual |
| **Jornadas Anuales Totales** | | | | | |
| Masculinas | 896 | 28.951 | 28.055 | 3.132,5% | 24,3% |
| Femeninas | 153 | 20.363 | 20.210 | 13.252,6% | 35,8% |
| **Jornadas Anuales Permanentes** | | | | | |
| Masculinas | 43 | 20.774 | 20.731 | 48.436,9% | 47,2% |
| Femeninas | 0 | 14.096 | 14.096 | - | - |
| **Empleos Mensuales Permanentes** | | | | | |
| Masculinos | 1 | 73 | 72 | 7.200,0% | 30,8% |
| Femeninas | 0 | 49 | 49 | - | - |
| **Jornadas Anuales Temporales** | | | | | |
| Masculinas | 853 | 8.177 | 7.324 | 858,7% | 15,2% |
| Femeninas | 153 | 6.266 | 6.114 | 4.009,1% | 26,1% |

Fuente: Elaboración propia.

# 6. mODELO DE SIMULACIÓN operacional

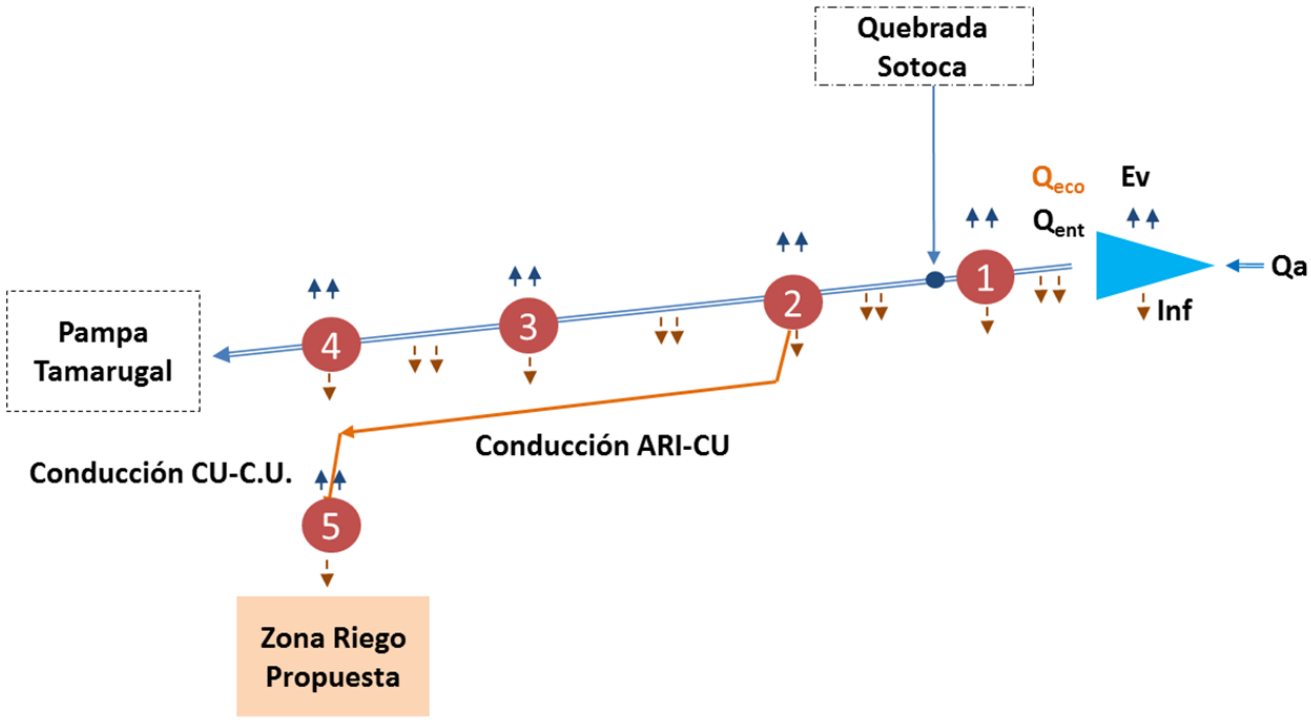
## *6.1. Descripción del modelo*

El modelo de operación se desarrolló considerando los principales elementos que componen el sistema de Riego del Embalse Pintanane en la Quebrada de Aroma. En él se reúnen distintos tipos de información ya sea recopilada o generada durante las etapas previas del estudio.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En la Figura 9.1-1 se muestra un esquema del modelo de simulación en el que se operaron los diferentes escenarios de calidad de agua y las distintas alternativas de ubicación de embalse.

**FIGURA 6.1-1**
**ESQUEMA DEL MODELO DE SIMULACIÓN OPERACIONAL PINTANANE**




Fuente: Elaboración propia.

En el Embalse se consideran los siguientes elementos de balance:
Qa : Caudal Afluente al Embalse ($m^3/s$)
Ev : Evaporación desde el espejo del embalse ($hm^3$)
Inf : Filtraciones desde el embalse ($hm^3$)
Qeco : Caudal Ecológico ($m^3/s$)
Qent : Caudal de Entrega para las demandas de las zonas de riego ($m^3/s$)
En cada zona de riego se considera la infiltración debido a perdidas de la práctica de riego y lixiviación.
Cada Nodo representa un sector de Riego o Zona de Balance del Modelo según la siguiente definición:

- **Nodo 1:** Zona de Riego ubicada antes de la Quebrada Sotoca en la Quebrada de Aroma.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Nodo 2:** Zona de Riego ubicada aguas abajo de la Quebrada de Sotoca en la Quebrada de Aroma.
- **Nodo 3 y 4:** Zonas de balance de pérdidas y actual zona de toma del Canal "Cu-C.U.

Las conducciones Ariquilda – Curaña (ARI-CU) y Curaña – Cerro Unitas(CU-C.U.) corresponden a las obras necesarias para transportar el agua desde la zona del Nodo 2 hasta la Zona de Riego propuesta en la Pampa.
En el Cuadro 9.1-1 se incluye el resumen de los datos y parámetros del modelo de simulación, para los distintos escenarios y las distintas ubicaciones de embalse analizadas. En este escenario se realizaron las verificaciones de los parámetros del modelo (pérdidas, filtraciones, factores de reutilización, etc.), de modo que los valores adoptados reflejaran lo más fielmente posible la situación tanto observada en terreno como de estudios realizados cerca de la Quebrada de Aroma.

**CUADRO 6.1-1**
**DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO**

| Parámetro | Descripción |
|---|---|
| **Capacidad de regulación del embalse** | Se ingresa la capacidad a simular que varía en cada corrida del modelo. |
| **Alternativa de Ubicación de Embalse** | Cada alternativa de embalse se debe ingresar como parámetro para evaluar la capacidad de almacenamiento que queda en función de las curvas de embalse de cada sitio. |
| **Subescenario de Calidad** | Se definieron dos subescenarios de calidad.<br>Calidad Actual y Calidad Mejorada, en base a la que varían las demandas de riego según sea el tipo de calidad de agua con la que se dispone para el riego. |
| **Eficiencia de conducción** | La conducción de Riego considerada para llegar desde el Nodo 2 hasta la zona de riego de la Pampa se asocia a una eficiencia de riego alta, debido a que se considera en acueducto. |
| **Tasas de Evaporación** | Según la ubicación del embalse se estimaron las evaporaciones desde el espejo de agua del embalse considerando la variación mensual y la fuente de información de la CNR para proyectos de riego. |
| **Curva de Embalse** | Cada alternativa queda definida por una curva de embalse según la relación de Superficie vs Altura y Volumen vs Altura que está determinada por la capacidad de almacenar aguas arriba del muro de embalse. |
| **Demandas Unitarias de Riego por sector** | La Demanda Unitaria de Riego por Sector se estableció considerando los requerimientos del cultivo, el agua necesaria para lixiviar el suelo y un determinado factor de reutilización. |

**CUADRO 6.1-1**
**DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO**

| Parámetro | Descripción |
|---|---|
| **Filtración del embalse a cota máxima** | Se consideró una filtración asociada al volumen de embalse, como una pérdida del almacenamiento. |
| **Volumen Muerto del Embalse** | Volumen para sedimentos del embalse. |

Fuente: Elaboración propia.

De forma adicional a la entrega también se consideró la entrega de un caudal ecológico de variación mensual. En los siguientes acápites se describen las principales componentes y resultados del modelo de simulación del Embalse Pintanane, Quebrada de Aroma.

## *6.2. Descripción de los Escenarios y alternativas*

Para la evaluación del modelo se consideraron los siguientes escenarios:

**Escenario 1:** Situación actual o sin proyecto.

**Escenario 2:** Embalse para satisfacer la demanda de riego del sector alto de la quebrada de Aroma (desde el sector de Pailca hasta Ariquida) y la potencial zona de riego que se ubica en las cercanías de la localidad de Huara. Este escenario se evaluará para la situación decalidad de agua actual y para una situación de calidad mejorada indicadas en el volumen agroeconómico y que se definen en el acápite siguiente.

Se proyecta la conducción de las aguas por tubería desde el sector de Ariquilda hasta el sector de Cerro Unitas para el abastecimiento de la nueva zona de riego, con una extensión de 44 km aproximadamente. El transporte se realizaría por medio de las conducciones Ariquilda – Curaña (ARI-CU) y Curaña – Cerro Unitas. (CU-C.U.).

## *6.3. evaluación para diferentes situaciones de calidad de Agua*

Se consideran dos situaciones de calidad de agua en el escenario Con Proyecto:

- **Calidad Actual**: considera el actual escenario de calidad de agua utilizando los mismos cultivos y variedades de Situación Actual y Sin Proyecto, dada su adaptabilidad a las condiciones tóxicas existentes de salinidad, boro y arsénico para el desarrollo de la mayor parte de los cultivos. Se incorpora además la coliflor como representante de las escasas alternativas hortícolas


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

que toleran estos niveles de salinidad a un máximo alcanzable de 50% de rendimiento potencial según FAO Irrigation and DrainagePapers, 1994, lo que merma significativamente el margen del cultivo. Este escenario es el que en rigorse debe considerar en Situación Con Proyecto.

- **Calidad Mejorada**: asume un escenario hipotético en que el agua entregada por el proyecto cumplirá con los estándares de calidad apropiados para riego y constituye una referencia de comparación en el marco hipotético que el agua fuese tratada. Se plantea así un escenario hipotético donde la calidad de agua, en su parámetro más restrictivo que es la conductividad eléctrica (Ce), no supere los 2,1 mS/cm, umbral de Ce planteado por FAO 29 Rev. 1 sobre el cual el potencial de rendimientos de las especies agrícolas en general baja del 75%. Se supone además un mejoramiento de la calidad del agua en sus niveles de boro existentes dado que como ya se mencionó, para el desarrollo de los cultivos es el factor más limitante. De esta manera se posibilita la incorporación de alternativas de cultivo en esta estructura y que los rendimientos de los ya presentes experimenten un aumento según su condición de adaptabilidad.

La consideración de estos dos tipos de calidad de agua tiene directa implicancia en la disminución de las tasas de riego, por lo que el modelo considera esta disminución de manera directa al disminuir las demandas según lo estimado en el estudio agroeconómico.

## *6.4. Demandas de riego*

A partir de los resultados del estudio agroeconómico en que se determinaron las tasas de riego para los diversos cultivos considerados.
En el Cuadro 9.4-1 se muestran las tasas de riego del área de estudio, tanto para la Situación Actual como para la Situación Futura. Los resultados detallados se presentan en el Capítulo 7. En la Figura 9.4-1 se muestra un gráfico con la variación mensual de las demandas de Riego.
La referencia S. Actual se refiere a la situación actual sin proyecto, mientras que las siglas S.F.Q. y S.F.P. se refieren a la situación futura ubicada en la Quebrada de Aroma en la zona de Quebrada y Pampa respectivamente. La referencia Calidad Mejorada S.F.Q. Y S.F.P. se refieren a las áreas de riego en situación futura ubicadas en la Quebrada de Aroma en la Zona de Quebrada y Pampa respectivamente.

**CUADRO 6.4-1**

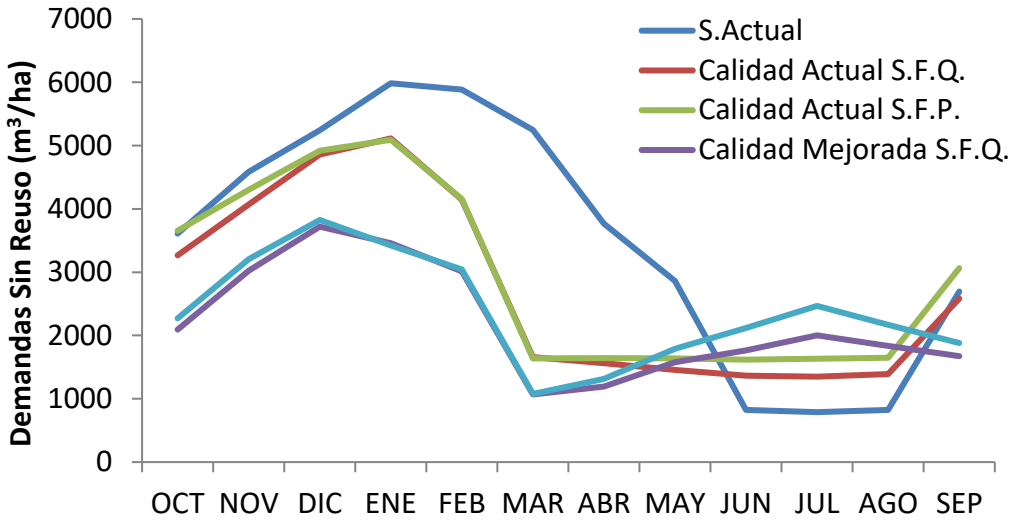
**RESUMEN TASAS DE RIEGOÁREA DE ESTUDIO ($m^3$/ha)**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| Mes | Calidad Actual | Calidad Actual | | Calidad Mejorada | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Situación Actual | S.F.Q. | S.F.P. | S.F.Q. | S.F.P. |
| OCT | 3.610 | 3.265 | 3.656 | 2.095 | 2.269 |
| NOV | 4.585 | 4.072 | 4.301 | 3.022 | 3.204 |
| DIC | 5.242 | 4.860 | 4.919 | 3.719 | 3.825 |
| ENE | 5.984 | 5.113 | 5.091 | 3.458 | 3.424 |
| FEB | 5.885 | 4.146 | 4.154 | 3.011 | 3.044 |
| MAR | 5.248 | 1.658 | 1.636 | 1.069 | 1.077 |
| ABR | 3.768 | 1.560 | 1.643 | 1.195 | 1.317 |
| MAY | 2.859 | 1.457 | 1.640 | 1.580 | 1.791 |
| JUN | 825 | 1.367 | 1.619 | 1.766 | 2.121 |
| JUL | 789 | 1.350 | 1.634 | 2.004 | 2.465 |
| AGO | 826 | 1.390 | 1.649 | 1.835 | 2.169 |
| SEP | 2.697 | 2.582 | 3.064 | 1.675 | 1.882 |
| Anual | 42.317 | 32.819 | 35.007 | 26.427 | 28.588 |

Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 9.4-1**
**VARIACIÓN DE TASAS DE RIEGOÁREA DE ESTUDIO (m³/ha)**




Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 9.4-1 y Figura 9.4-1 se observa que las tasas de riego futuras en la mayoría de los meses son menores que en la situación actual, salvo entre los meses de Junio y Agosto, esto se debe principalmente a las mejoras y optimizaciones planteadas para el uso de los


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

recursos de producción, tal como el aumento del nivel tecnológico en los estratos de menor tamaño.

## *6.5. Factores de Reutilización*

Cabe destacar que se considerado que una fracción del agua pérdida post-riego en una unidad productiva particular, en este caso eras con pretiles rústicos de retención, es reutilizada en las unidades vecinas, ya sea por la escorrentía superficial o subsuperficial. Lo anterior se fundamenta en que el agricultor, debido a la forma de riego que implementa, principalmente inundando y controlando el paso a las unidades vecinas, puede aprovechar parte del agua que teóricamente se pierde debido a la ineficiencia de los métodos de riego. La magnitud de la reutilización depende del método de riego utilizado y las características propias de saturación del suelo. En este sentido, la reutilización es indirectamente proporcional a la eficiencia de los métodos de riego y aumenta a medida que el suelo se encuentre más saturado.

Para el área de estudio se han utilizado factores de reutilización utilizados en los estudios prefactibilidad "Construcción Embalse Rio Rapel, Comuna de Monte Patria Región de Coquimbo" (DOH, 2011) y "Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Riego Río El Carmen, Región de Atacama" (CNR, 2011). Los valores de dicho estudio han sido disminuidos debido a la menor capacidad de saturación del suelo y la deficiencia técnica en la retención del flujo superficial propio de los tipos de estructuras usadas para implementar los métodos de riego en el área de estudio. A continuación se muestran los resultados ponderados a nivel de la Situación Actual y Con Proyecto:

Factores de Reutilización del Agua Adoptados

| | | |
|---|---|---|
| Situación Actual | : | 0,30 |
| Situación Con Proyecto Esc. 1 (Sin Mejoramiento Calidad de Aguas) | : | 0,22 |
| Situación Con Proyecto Esc. 2 (Con Mejoramiento Calidad de Aguas) | : | 0,12 |

Este factor permitió disminuir las Demandas de Riego considerando factores de reutilización mediante la siguiente expresión para cada cultivo i:

Factor de Reutilización$_i$ * (Demanda Neta$_i$ – Tasa de Riego$_i$)

En el Cuadro 9.5-1 se muestran las tasas modificadas considerando el factor de reutilización para cada escenario según calidad.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 6.5-1

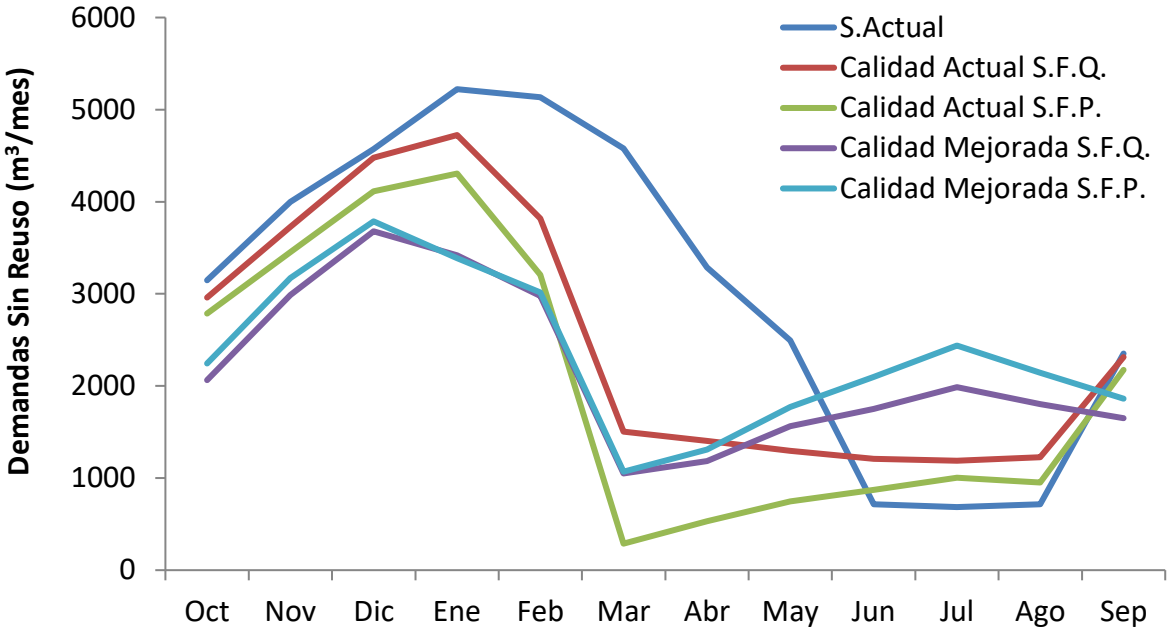
### RESUMEN TASAS DE RIEGOÁREA DE ESTUDIO CONSIDERANDO FACTORES DE REUTILIZACIÓN (m³/ha)

| Mes | Calidad Actual | Calidad Actual | | Calidad Mejorada | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Situación Actual | S.F.Q. | S.F.P. | Situación Actual | S.F.Q. |
| **OCT** | 3.148 | 2.958 | 2.786 | 2.065 | 2.243 |
| **NOV** | 3.999 | 3.726 | 3.454 | 2.988 | 3.171 |
| **DIC** | 4.573 | 4.479 | 4.113 | 3.679 | 3.787 |
| **ENE** | 5.222 | 4.724 | 4.306 | 3.417 | 3.388 |
| **FEB** | 5.136 | 3.819 | 3.206 | 2.976 | 3.014 |
| **MAR** | 4.579 | 1.504 | 288 | 1.050 | 1.069 |
| **ABR** | 3.286 | 1.403 | 531 | 1.184 | 1.308 |
| **MAY** | 2.493 | 1.297 | 748 | 1.564 | 1.772 |
| **JUN** | 715 | 1.207 | 872 | 1.750 | 2.098 |
| **JUL** | 685 | 1.188 | 1.004 | 1.986 | 2.438 |
| **AGO** | 716 | 1.226 | 950 | 1.802 | 2.142 |
| **SEP** | 2.351 | 2.314 | 2.176 | 1.651 | 1.861 |
| **Anual** | 36.902 | 29.845 | 24.432 | 26.111 | 28.289 |

Fuente: Elaboración propia.

## FIGURA 6.5-1

### VARIACIÓN MENSUAL DE TASAS DE RIEGO CONSIDERANDO FACTORES DE REUTILIZACIÓN (m³/ha)




Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 9.5-2 se muestran las demandas de riego con y sin reutilización. Se observa que para la situación de Calidad actual se muestran las diferencias mayores, debido a que se puede utilizar más el agua que en la situación de calidad mejorada que considera una tecnología de riego más eficiente.

**CUADRO 6.5-2**

**RESUMEN TASAS DE RIEGOÁREA DE ESTUDIO CON Y SIN REUTILIZACIÓN**

| Demanda de Riego | Calidad Actual | Calidad Actual | | Calidad Mejorada | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Situación Actual | S.F.Q. | S.F.P. | S.F.Q. | S.F.P. |
| Sin Reutilización | 42.317 | 32.745 | 27.234 | 26.399 | 28.588 |
| Con Reutilización | 36.902 | 29.845 | 24.432 | 26.111 | 28.289 |
| Diferencia % | 87 | 91 | 90 | 99 | 99 |

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que al considerar la reutilización y aprovechar la ineficiencia de los métodos de riego es posible disminuir la demanda de los sectores de riego. Para la Situación actual, en la que se existe mayor ineficiencia de riego, es posible reutilizar mayor cantidad del recurso, con lo que se disminuyen en a un 87% de la demanda inicial, mientras que para la situación futura con calidad actual es posible disminuir las tasas a un 90 % aproximadamente de la demanda inicial. En el caso de situación futura con calidad mejorada al considerar sistemas de riego más eficientes la cantidad del recurso a utilizar es marginal, en la que solo es posible disminuir a un 99% las demandas iniciales.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

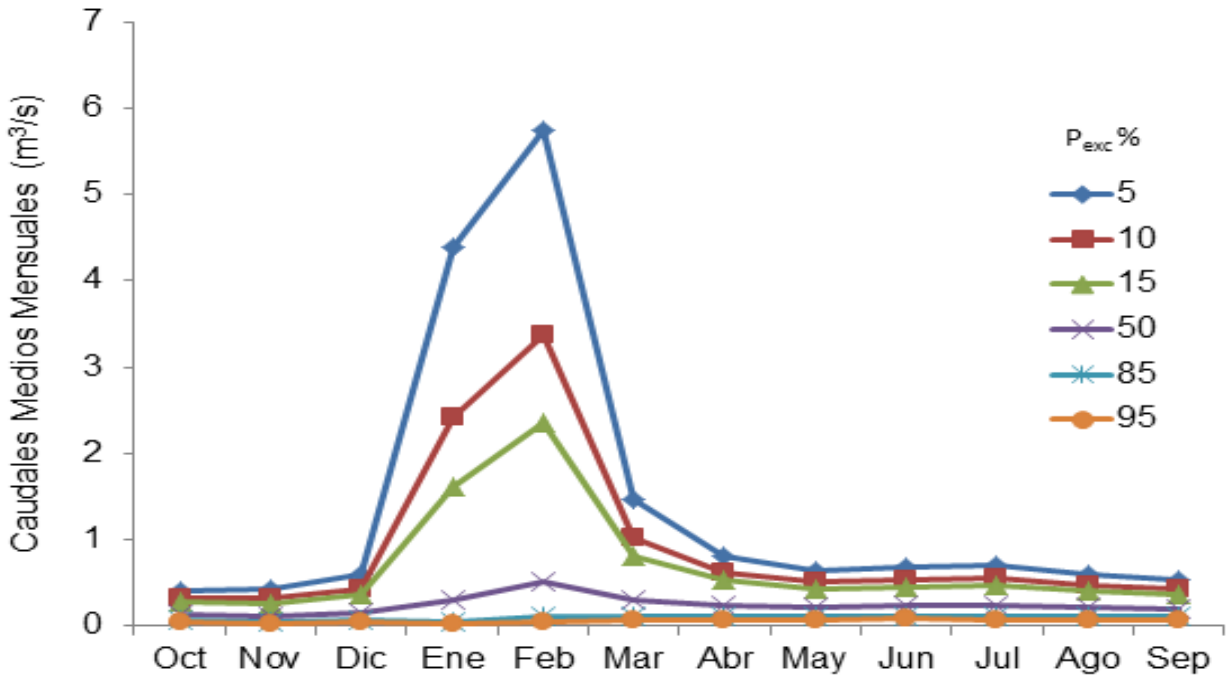
## *6.6. Caudal Afluente al Embalse*

Del Estudio Hidrológico de la Quebrada de Aroma fue posible obtener los valores de caudales medios afluentes al embalse y la serie de variación mensual. En la Figura 9.6-1 se muestran los valores de caudales afluentes al embalse asociados a distintas probabilidades de excedencia.

Dado las características propias de la zona de estudio la mayor cantidad del recurso se concentra entre los meses de Diciembre y Marzo, debido al fenómeno conocido como Invierno Altiplánico. El aporte de los meses peak se ubica entre Enero y Febrero y el comportamiento de la serie corresponde a eventos extremos. En el Cuadro 9.6-1 se muestran los caudales asociados a distintas probabilidades de excedencia.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 6.6-1
## CAUDALES MEDIOS MENSUALES Q. DE AROMA EN EMBALSE PINTANANE




Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 6.6-2
## CAUDALES MEDIOS MENSUALES Q. DE AROMA EN EMBALSE PINTANANE

| P.Exc. % | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Anual |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 0,366 | 0,382 | 0,529 | 3,838 | 5,078 | 1,312 | 0,737 | 0,579 | 0,612 | 0,638 | 0,538 | 0,475 | 0,551 |
| 10 | 0,287 | 0,288 | 0,394 | 2,129 | 2,999 | 0,924 | 0,566 | 0,458 | 0,485 | 0,499 | 0,428 | 0,381 | 0,477 |
| 15 | 0,243 | 0,238 | 0,323 | 1,431 | 2,102 | 0,729 | 0,473 | 0,391 | 0,414 | 0,423 | 0,367 | 0,329 | 0,433 |
| 50 | 0,122 | 0,107 | 0,139 | 0,266 | 0,468 | 0,268 | 0,223 | 0,200 | 0,213 | 0,210 | 0,191 | 0,176 | 0,287 |
| 85 | 0,061 | 0,048 | 0,060 | 0,050 | 0,104 | 0,098 | 0,105 | 0,102 | 0,109 | 0,104 | 0,100 | 0,094 | 0,191 |
| 95 | 0,040 | 0,030 | 0,037 | 0,019 | 0,043 | 0,055 | 0,067 | 0,069 | 0,074 | 0,069 | 0,068 | 0,065 | 0,150 |
| $Q_{med}$ | 0,146 | 0,136 | 0,188 | 0,519 | 0,846 | 0,450 | 0,275 | 0,234 | 0,253 | 0,253 | 0,223 | 0,203 | 0,312 |

Fuente: Elaboración propia.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## *6.7. caudal ecologico*

La estimación del Caudal Ecológico se realizó según los criterios de la Resolución de la DGA en laque fija criterios para el cálculo del Caudal Ecológico al constituirse Derechos de Aprovechamiento de Aguas. La Dirección General de Aguas en el nuevo Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (DGA-MOP, Diciembre 2008), adecuó el caudal ecológico a las variaciones en los caudales del cauce, dentro de un periodo anual considerando la estacionalidad y estableciendo un caudal ecológico mínimo variable según se describe en forma textual el acápite 5.1.3 Caudal Ecológico de la publicación de la DGA-MOP de Diciembre 2008 tal como se muestra a continuación:

***"Que, el procedimiento a utilizar, para definir un caudal ecológico mínimo variable, considera los siguientes escenarios:***

***a) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo utilizando el criterio del diez por ciento (10%) del caudal medio anual:***

***Se considerarán el cincuenta por ciento (50%) del caudal con probabilidad de excedencia del noventa y cinco por ciento (95%), para cada mes, con las restricciones siguientes:***

- ***Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es menor al diez por ciento (10%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el diez por ciento (10%) del caudal medio anual.***

- ***Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es mayor al diez por ciento (10%) del caudal medio anual y menor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia.***

- ***Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el veinte por ciento (20%) del caudal medio anual.***


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

***b) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del menor cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia:***

***Se considerarán los caudales asociados al cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia, para cada mes, con las restricciones siguientes:***

- ***Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es menor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento 50% del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia.***

- ***Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el veinte por ciento (20%) del caudal medio anual.***

***c) Cauce sin derechos constituidos o sin caudal ecológico mínimo definido:***

***En estos casos se aplicará el criterio establecido en la letra b) con las mismas restricciones."***

Para el caso la Quebrada de Aroma se adoptan los criterios propuestos para el caso b). En el Cuadro 9.7-1 se muestran los caudales ecológicos estimados mediante el método hidrológico:

**CUADRO 6.7-1**
**CAUDAL ECOLÓGICO Q. DE AROMA A PIE DE EMBALSE PINTANANE (m³/s)**

| MES | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20% QMA | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 |
| 50% Q95% | 0,020 | 0,015 | 0,018 | 0,009 | 0,022 | 0,027 | 0,034 | 0,034 | 0,037 | 0,035 | 0,034 | 0,033 |
| Q Ecológico | 0,020 | 0,015 | 0,018 | 0,009 | 0,022 | 0,027 | 0,034 | 0,034 | 0,037 | 0,035 | 0,034 | 0,033 |

Fuente: Elaboración propia.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Este caudal fue incluido en la regla de operación del embalse de tal forma de asegurar de cumplir con el caudal ecológico medio anual igual a 27 L/s, en los meses en los que hay disponibilidad hídrica.

## *6.8. tasas de evaporación*

La evaporación se estimó a partir del Estudio Cartografía de la Evapotranspiración Potencial de Chile", de la CNR (1997/2000). En el Cuadro 9.8-1 se muestra el valor de evaporación mensual considerado en el modelo de operación y simulación del Embalse Pintanane. Se estima una ETP igual a 1650 mm en la zona de ubicación de embalse.
La estimación media a partir del espejo de agua del embalse se corrigió por un factor debido a que corresponde a la máxima tasa de evaporación potencial, por lo que se corrigió por un factor de 0,7 para obtener resultados más realistas en la evaluación del modelo de riego

**CUADRO 6.8-1**
**EVAPORACIÓN MENSUAL MODELO OPERACIONAL PINTANANE**

| Mes | Evaporación (mm) | Mes | Evaporación (mm) |
|---|---|---|---|
| **OCT** | 135 | **ABR** | 145 |
| **NOV** | 150 | **MAY** | 128 |
| **DIC** | 160 | **JUN** | 117 |
| **ENE** | 167 | **JUL** | 107 |
| **FEB** | 156 | **AGO** | 112 |
| **MAR** | 151 | **SEP** | 122 |

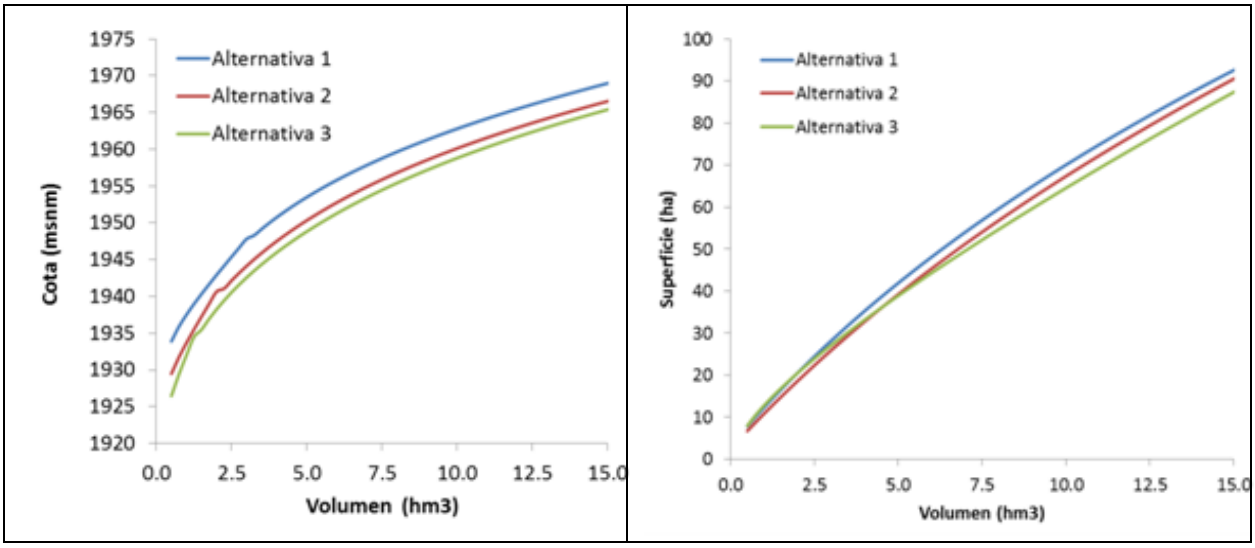
Fuente: Elaboración propia..

## *6.9. Curvas de embalse*

En base a la información del levantamiento se construyeron las curvas de cota versus volumen y superficie versus volumen, las que se muestran en la Figura 9.9-1.

**FIGURA 6.9-1**
**SUPERFICIE Y COTA VERSUS VOLUMEN**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Elaboración propia.

## *6.10. Operación para la Situación Actual o Sin Proyecto*

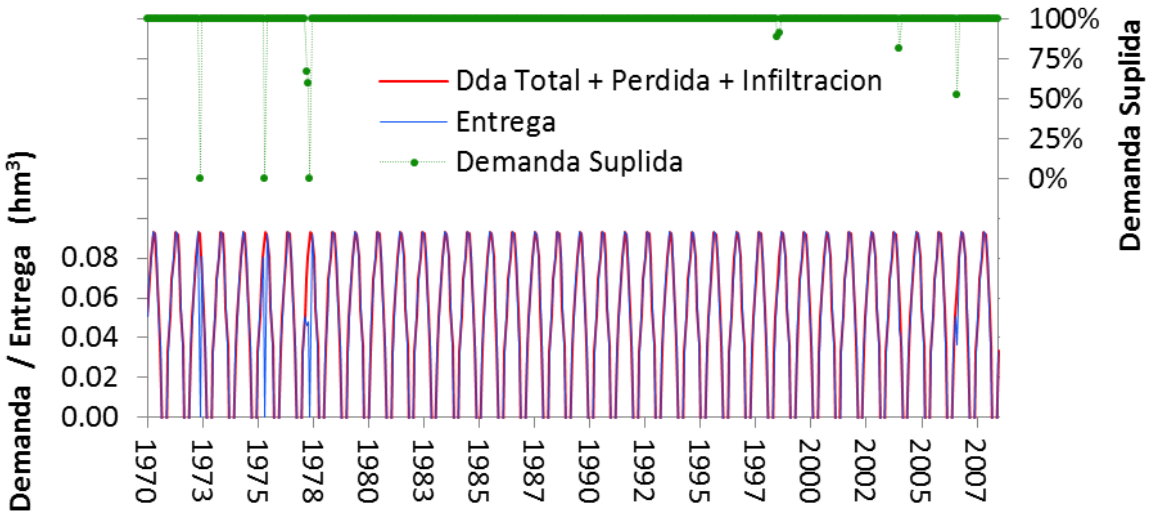
### 6.10.1. Aspectos Generales

En primer lugar se operó el modelo para la condición actual de la Quebrada Aroma. En forma resumida se presenta en la Figura 9.10.1-1 en términos de satisfacción de la demanda. Se consideró que la superficie de la zona de Riego N1 (0,0 ha), agua arriba de la Quebrada Sotoca, mientras que la superficie en la zona de Riego N2 (5,5 ha) corresponde a la zona regada actualmente, las que tienen una seguridad de 86,8 %. Los resultados detallados de este proceso se incluyen en el Anexo 9-1.

Se observa que para los meses entre Junio y Agosto la Demanda Total en términos de volumen mensual es mucho menor comparada con los otros meses. La Seguridad de Riego mayor o igual a 85 % se obtiene con una superficie de 5,5 ha, este valor podría ser mayor en la práctica pero sin embargo presentar una continuidad menor en cuanto a que actualmente no se siembra todo el año, tal como se ha supuesto durante todo el periodo de simulación. De todas formas durante los meses de Junio y Agosto se considera el menor periodo de demanda, aproximadamente un 5% de la demanda total anual.

**FIGURA 6.10.1-1**
**SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA (SITUACIÓN ACTUAL)**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 9.10.1-1 se muestra un resumen con los valores de superficie y seguridad de riego una vez operado el modelo.

**CUADRO 6.10.1-1**
**SUPERFICIE VERSUS SEGURIDAD DE RIEGO**

| Superficie Riego (ha) | Seguridad Riego (%) |
|---|---|
| 3,8 | 92,1 |
| 5,0 | 89,5 |
| **5,5** | **86,8** |
| 7,0 | 84,2 |
| 9,0 | 81,6 |
| 10,0 | 73,7 |

Fuente: Elaboración propia.

## 6.10.2. Operación para Riego

Para evaluar la situación con el proyecto de embalse de regulación para riego, se adoptaron las siguientes consideraciones:

- La superficie de riego potencial máxima a desarrollarse en la Quebrada de Aroma corresponde a 35 ha, mientras que la zona de expansión sólo puede darse en la zona de la Pampa. Por esta razón para evaluar los volúmenes de riego se considera el máximo de riego en la zona alta (35 ha) y el modelo aumenta las áreas en la zona de expansión de riego.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Para cada Alternativa de embalse se evaluó la posibilidad de regar con la calidad de agua actual y mejorada, por lo que para cada alternativa se obtuvieron dos curvas de superficie versus volumen máximo.

En los Cuadros 9.10.2-1 y 9.10.2-2 se muestra un resumen de los volúmenes obtenidos para cada Alternativa considerando calidad de agua actual y mejorada.
En los Cuadros 9.10.2-1 y 9.10.2-2 se muestran los valores asociados a la simulación de las Alternativas con volúmenes de embalse entre 0,5 y 15,5 $hm^3$ de capacidad en la Figura 9.10.2-1 se muestran las curvas correspondientes a cada simulación.
Para las tres alternativas no existe un aumento de la superficie relacionada a la seguridad 85%, esto se debe a que las tres alternativas se ubican en zonas muy cercanas y poseen curvas de embalse muy similares, sin generar cambios relevantes en cuanto a la evaporación o filtración que pueda generar una diferencia en la capacidad de regulación. Por otro lado al estar ubicadas muy cerca el caudal afluente tampoco se diferencia generando el mismo ingreso para todos los casos de estudio. En el Anexo 9-1 se muestra el Modelo de Simulación en detalle.

**CUADRO 6.10.2-1**
**RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN CALIDAD ACTUAL**

| Volumen de Regulación ($hm^3$) | Alternativa 1, 2 y 3 Superficie Regada con 85% de Seguridad (ha) | Volumen de Regulación ($hm^3$) | Alternativa 1, 2 y 3 Superficie Regada con 85% de Seguridad (ha) |
|---|---|---|---|
| 0,50 | 46,7 | 8,25 | 220,6 |
| 0,75 | 59,9 | 8,50 | 222,0 |
| 1,00 | 70,2 | 8,75 | 223,3 |
| 1,25 | 80,0 | 9,00 | 224,5 |
| 1,50 | 89,3 | 9,25 | 225,7 |
| 1,75 | 97,9 | 9,50 | 226,9 |
| 2,00 | 108,3 | 9,75 | 228,1 |
| 2,25 | 114,4 | 10,00 | 229,3 |
| 2,50 | 119,3 | 10,25 | 230,5 |
| 2,75 | 124,1 | 10,50 | 232,0 |
| 3,00 | 135,1 | 10,75 | 234,1 |
| 3,25 | 144,9 | 11,00 | 235,8 |
| 3,50 | 146,5 | 11,25 | 237,2 |
| 3,75 | 148,1 | 11,50 | 238,6 |
| 4,00 | 156,5 | 11,75 | 240,0 |
| 4,25 | 165,7 | 12,00 | 241,4 |
| 4,50 | 172,4 | 12,25 | 242,8 |
| 4,75 | 175,2 | 12,50 | 244,2 |
| 5,00 | 178,0 | 12,75 | 245,6 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 6.10.2-1**
**RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN CALIDAD ACTUAL**

| Volumen de Regulación ($hm^3$) | Alternativa 1, 2 y 3 Superficie Regada con 85% de Seguridad (ha) | Volumen de Regulación ($hm^3$) | Alternativa 1, 2 y 3 Superficie Regada con 85% de Seguridad (ha) |
|---|---|---|---|
| 5,25 | 183,4 | 13,00 | 247,0 |
| 5,50 | 190,5 | 13,25 | 248,4 |
| 5,75 | 193,1 | 13,50 | 249,8 |
| 6,00 | 195,6 | 13,75 | 251,2 |
| 6,25 | 198,1 | 14,00 | 252,5 |
| 6,50 | 200,7 | 14,25 | 253,9 |
| 6,75 | 202,1 | 14,50 | 255,3 |
| 7,00 | 204,6 | 14,75 | 256,2 |
| 7,25 | 209,4 | 15,00 | 256,2 |
| 7,50 | 214,2 | 15,25 | 256,2 |
| 7,75 | 217,9 | 15,50 | 256,2 |
| 8,00 | 219,2 | | |

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la superficie regada considerando la situación actual de agua es mayor que la superficie que se puede regar con calidad mejorada, esto se debe principalmente a que al considerar la calidad actual existen derrames que permiten una mayor reutilización del recurso y por tanto una disminución en los requerimientos finales, sin embargo se debe tener en cuenta que el tipo de cultivo considerada en calidad mejorada es de mayor calidad y podría generar mayor rentabilidad, lo que compensaría esta menor cantidad de áreas regadas.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

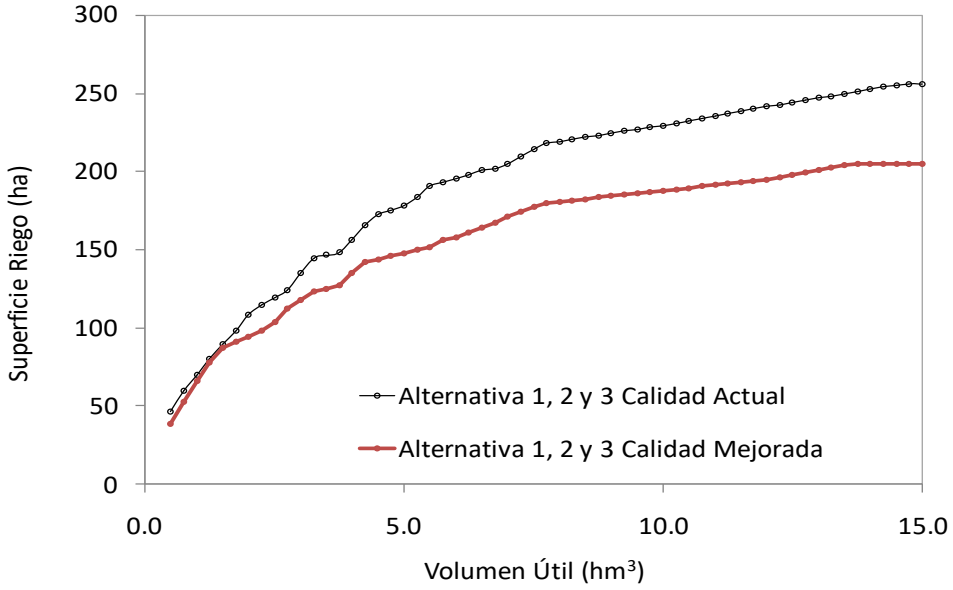
## CUADRO 6.10.2-2
## RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN CALIDAD MEJORADA

| Volumen de Regulación ($hm^3$) | Alternativa 1, 2 y 3 Superficie Regada con 85% de Seguridad (ha) | Volumen de Regulación ($hm^3$) | Alternativa 1, 2 y 3 Superficie Regada con 85% de Seguridad (ha) |
|---|---|---|---|
| 0,50 | 38,6 | 8,25 | 181,5 |
| 0,75 | 52,8 | 8,50 | 182,5 |
| 1,00 | 65,9 | 8,75 | 183,4 |
| 1,25 | 78,0 | 9,00 | 184,2 |
| 1,50 | 87,3 | 9,25 | 185,1 |
| 1,75 | 90,9 | 9,50 | 185,9 |
| 2,00 | 94,6 | 9,75 | 186,8 |
| 2,25 | 98,2 | 10,00 | 187,7 |
| 2,50 | 103,8 | 10,25 | 188,6 |
| 2,75 | 112,4 | 10,50 | 189,5 |
| 3,00 | 117,8 | 10,75 | 190,4 |
| 3,25 | 123,5 | 11,00 | 191,3 |
| 3,50 | 124,8 | 11,25 | 192,1 |
| 3,75 | 127,3 | 11,50 | 193,0 |
| 4,00 | 135,0 | 11,75 | 193,9 |
| 4,25 | 142,2 | 12,00 | 195,1 |
| 4,50 | 144,1 | 12,25 | 196,6 |
| 4,75 | 146,0 | 12,50 | 198,2 |
| 5,00 | 147,9 | 12,75 | 199,8 |
| 5,25 | 149,9 | 13,00 | 201,3 |
| 5,50 | 151,8 | 13,25 | 202,9 |
| 5,75 | 156,6 | 13,50 | 204,4 |
| 6,00 | 158,1 | 13,75 | 205,1 |
| 6,25 | 160,9 | 14,00 | 205,1 |
| 6,50 | 164,3 | 14,25 | 205,1 |
| 6,75 | 167,6 | 14,50 | 205,1 |
| 7,00 | 170,9 | 14,75 | 205,1 |
| 7,25 | 174,3 | 15,00 | 205,1 |
| 7,50 | 177,6 | 15,25 | 205,1 |
| 7,75 | 179,6 | 15,50 | 205,1 |
| 8,00 | 180,5 | | |

Fuente: Elaboración propia.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.10.2-1**
**SUPERFICIE REGADA CON 85% DE SEGURIDAD**




Fuente: Elaboración propia.

## 6.10.3. Estimación del cambio en Caudales de Infiltración hacia la Pampa

Para la estimación de la variación en la recarga de los caudales de infiltración hacia la Pampa se estimaron todos los caudales que se infiltran de la Figura 9.10.3-1 que se consideran como entrada de flujos subterráneos.

En el Cuadro 9.10.3-1 se muestra un resumen con los caudales que se infiltran en Situación Actual y Situación Futura Con y Sin Mejoramiento de la calidad de agua. Los porcentajes de Lixiviación corresponden a la cantidad de recurso que se utiliza en el suelo para mejorar su calidad y que se utiliza como lavado por lo que este porcentaje de agua se infiltra directamente en el suelo, este valor se estimó se de las cantidades recomendadas en el estudio agronómico. Por último se adoptó que se infiltra un 20% del agua que se utiliza exclusivamente para el riego (sin considerar lixiviación).

**CUADRO 6.10.3-1**
**PORCENTAJES DE INFILTRACIÓN PARA ESTIMAR FLUJOS SUBTERRÁNEOS**

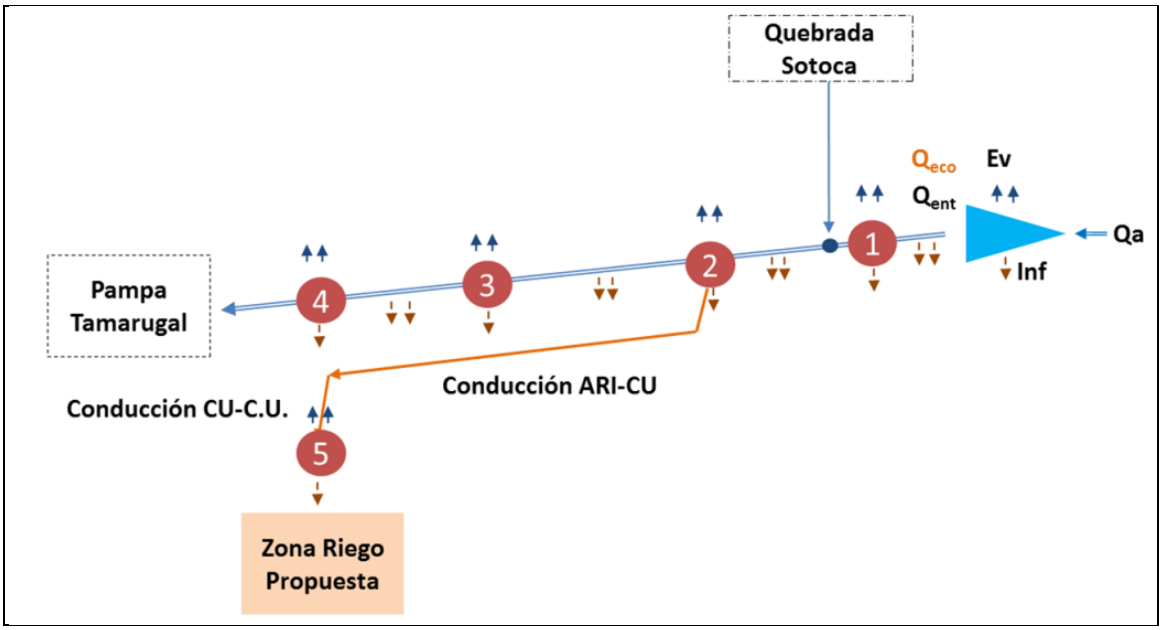
| | | |
|---|---|---|
| **%Lixiviación** | **SA** | 34% |
| | **SF Cal. Actual** | 35% |
| | **SF Cal. Mejorada** | 54% |
| **Infiltración del Riego** | **(Demanda-Lixiviación)** | 20% |


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Nota: SA: Situación Actual; SF: Situación Futura
Fuente: Elaboración propia.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 6.10.3-1**
**CAUDALES DE INFILTRACIÓN POR NODO (RIEGO Y LIXIVIACIÓN), PERDIDAS EN CONDUCCIÓN Y EN TRAMOS DE RÍO**




Fuente: Elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que para los eventos de crecida en que la Quebrada Aroma aporta recursos a Pampa en forma superficial existe incertidumbre sobre qué porcentaje de este recurso se infiltra y qué porcentaje se evapora, en forma inicial los cálculos se realizaron considerando que en aquellos casos de crecida en que el recurso llega a la Pampa se infiltra un 30% y se pierde un 70 % por evaporación.

Se observa que la disminución del caudal de infiltración podría estar entre un -28% para situación de calidad actual y un -18% con situación mejorada. El porcentaje de disminución de la infiltración es mayor en el caso de calidad actual debido a que los porcentajes de lixiviación del Cuadro 9.10.3-1 son mayores en la situación con calidad mejorada y que en la situación con calidad actual, un 54% y un 35% de lixiviación respectivamente. En el Cuadro 9.10.3-3 se muestra el resultado del análisis de sensibilidad de dicho parámetro.

Como no se tiene certeza sobre este porcentaje de infiltración se realizó un análisis de sensibilidad considerando que solo se infiltra un 10 % y un 20%, lo que corresponde a casos más desfavorables. Del análisis de sensibilidad se observa que los valores que el caudal de infiltración estimado en Situación Actual varía entre 292 L/s y 301 L/s, considerando porcentajes de infiltración de 10% y 30% respectivamente. Para situación futura el caso más desfavorable el caudal de infiltración disminuye a 217 L/s y 247 L/s para situación con


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

calidad actual y calidad mejorada respectivamente, esto se debe a que los volúmenes de lixiviación son mayor en el caso de situación mejorada debido a que se requiere más agua para el lavado de suelo y por tanto se infiltra mayor cantidad del recurso.

**CUADRO 6.10.3-2**

**CAMBIO EN LA RECARGA CONSIDERANDO UN 30% INFILTRACIÓN DE CAUDAL DE CRECIDAS AFLUENTES A LA PAMPA**

| Sectores con recarga al Acuífero | | Situación Actual | Situación Futura con Calidad Actual | Situación Futura con Calidad Mejorada |
|---|---|---|---|---|
| | | (L/s) | (L/s) | (L/s) |
| Filtración | EMB | 0,0 | 3,1 | 3,1 |
| Tramo | EMB-N1 | 11,4 | 87,0 | 89,9 |
| Nodo1 | Lixiviación | 0,0 | 1,3 | 1,7 |
| | Riego | 0,0 | 0,5 | 0,3 |
| | Total | 0,0 | 1,8 | 2,0 |
| Nodo2 | Lixiviación | 2,2 | 9,8 | 13,1 |
| | Riego | 0,8 | 3,6 | 2,2 |
| | Total | 3,0 | 13,4 | 15,4 |
| | Conducción | 0,0 | 19,7 | 19,4 |
| Nodo5 | Lixiviación | 0,0 | 57,8 | 90,2 |
| | Riego | 0,0 | 21,5 | 15,4 |
| | Total | 0,0 | 79,3 | 105,5 |
| Tramo | N2-N3 | 185,4 | 8,0 | 7,1 |
| Tramo | N3-N4 | 88,1 | 4,2 | 3,9 |
| Nodo4 | Infiltración en la Pampa por Crecidas | 12,9 | 1,0 | 1,4 |
| Total Infiltración | | 300,9 | 217,3 | 247,7 |
| % Variación | | 0% | -28% | -18% |

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 6.10.3-3**

**ANALISIS DE SENSIBILIDAD CONSIDERANDO 10% Y 20% DE INFILTRACIÓN DE CAUDAL DE CRECIDAS AFLUENTES A LA PAMPA**

| Sectores con recarga al Acuífero | | 10 % Infiltración | | | 20 % Infiltración | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Situación Actual | Situación Futura con Calidad Actual | Situación Futura con Calidad Mejorada | Situación Actual | Situación Futura con Calidad Actual | Situación Futura con Calidad Mejorada |
| | | (l/s) | (l/s) | (l/s) | (l/s) | (l/s) | (l/s) |
| Filtración | EMB | 0,0 | 3,1 | 3,1 | 0,0 | 3,1 | 3,1 |


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 6.10.3-3**
**ANALISIS DE SENSIBILIDAD CONSIDERANDO 10% Y 20% DE INFILTRACIÓN DE CAUDAL DE CRECIDAS AFLUENTES A LA PAMPA**

| Sectores con recarga al Acuífero | | 10 % Infiltración | | | 20 % Infiltración | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Situación Actual | Situación Futura con Calidad Actual | Situación Futura con Calidad Mejorada | Situación Actual | Situación Futura con Calidad Actual | Situación Futura con Calidad Mejorada |
| | | (l/s) | (l/s) | (l/s) | (l/s) | (l/s) | (l/s) |
| **Tramo** | **EMB-N1** | 11,4 | 87,0 | 89,9 | 11,4 | 87,0 | 89,9 |
| **Nodo1** | **Lixiviación** | 0,0 | 1,3 | 1,7 | 0,0 | 1,3 | 1,7 |
| | **Riego** | 0,0 | 0,5 | 0,3 | 0,0 | 0,5 | 0,3 |
| | **Total** | 0,0 | 1,8 | 2,0 | 0,0 | 1,8 | 2,0 |
| **Nodo2** | **Lixiviación** | 2,2 | 9,8 | 13,1 | 2,2 | 9,8 | 13,1 |
| | **Riego** | 0,8 | 3,6 | 2,2 | 0,8 | 3,6 | 2,2 |
| | **Total** | 3,0 | 13,4 | 15,4 | 3,0 | 13,4 | 15,4 |
| | **Conducción** | 0,0 | 19,7 | 19,4 | 0,0 | 19,7 | 19,4 |
| **Nodo5** | **Lixiviación** | 0,0 | 57,8 | 90,2 | 0,0 | 57,8 | 90,2 |
| | **Riego** | 0,0 | 21,5 | 15,4 | 0,0 | 21,5 | 15,4 |
| | **Total** | 0,0 | 79,3 | 105,5 | 0,0 | 79,3 | 105,5 |
| **Tramo** | **N2-N3** | 185,4 | 8,0 | 7,1 | 185,4 | 8,0 | 7,1 |
| **Tramo** | **N3-N4** | 88,1 | 4,2 | 3,9 | 88,1 | 4,2 | 3,9 |
| **Nodo4** | **Infiltración en la Pampa por Crecidas** | 4,3 | 0,3 | 0,5 | 8,6 | 0,7 | 0,9 |
| **Total Infiltración** | | 292,3 | 216,7 | 246,8 | 296,6 | 217,0 | 247,3 |
| **% Variación** | | 0% | -26% | -16% | 0% | -27% | -17% |

Fuente: Elaboración propia.

## *6.11. conclusiones y recomendaciones*

En el caso de las tres alternativas analizadas no existe variación relevante en cuanto a la capacidad de regulación o aumentos en las perdidas por filtración o evaporación, por lo que la superficie regada versus volumen útil resulta ser la misma para las tres alternativas.
La máxima superficie regada en el caso de los escenarios de calidad analizados corresponde a 256 ha y 205 ha, asociadas a un embalse de volumen útil de 15 $hm^3$, para calidad de agua actual y mejorada. En la curva de volumen útil versus superficie regada se observa un


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

quiebre en 7,5 $hm^3$, a partir del cual el aumento de superficie con seguridad del 85 % comienza aumentar en forma marginal con respecto al aumento del volumen del embalse.
Se estima que el caudal de infiltración con proyecto podría disminuir la infiltración actual desde 300 l/s que se estiman actualmente a 217 l/s y 247 l/s considerando situación con calidad actual y mejorada respectivamente, para las alternativas de embalse de 15 $hm^3$, que considera el caso que genera mayor cantidad de hectáreas de riego (256 ha y 205 ha para situación con calidad actual y mejorada respectivamente).
Respecto al análisis de disminución del caudal de infiltración hacia la pampa podría estar entre un -28% para situación de calidad actual y un -18% con situación mejorada. El porcentaje de disminución de la infiltración es mayor en el caso de calidad actual debido a que los porcentajes de lixiviación del Cuadro 9.10.3-1 son mayores en la situación con calidad mejorada y que en la situación con calidad actual, un 54% y un 35% de lixiviación respectivamente (estimados a partir de las recomendaciones del estudio agronómico). Esto se debe a que en la situación de calidad actual el tratamiento de lavado del perfil del suelo que se realiza con el objetivo de remover sales y elementos tóxicos, como boro y arsénico, no genera resultados satisfactorios, por la cual en una situación sin mejoramiento de calidad de agua el volumen utilizado para satisfacer la demanda de riego no contemplan un volumen para mejorar la calidad actual del suelo. Por el contrario, en una situación de calidad mejorada sí es factible implementar dichos tratamientos mejorando las características del perfil de suelo propiciando la incorporación de alternativas de cultivo más rentables en una Situación Con Proyecto generando volúmenes de lixiviación más altos.
El análisis de sensibilidad de porcentaje de infiltración en la pampa no mostró cambios relevantes y mantuvo los porcentajes de disminución en el caudal que se infiltra hacia la pampa entre un -26% para situación de calidad actual y un -17% con situación mejorada. De este análisis se concluye que los cambios principales ocurren en los procesos en que se infiltra el recurso hacia la Pampa, ya que en situación sin proyecto el recurso se infiltra directamente desde el río y de las crecidas que llegan a la pampa, mientras que en la situación con proyecto al destinar volúmenes importantes para lavado de suelo ocurre un cambio en la forma de infiltrar el recurso. El grado de incertidumbre asociado a estos análisis se mantiene dentro de un rango importante, al igual que todos los estudios realizados anteriormente en los que se ha estimado la recarga desde la Quebrada de Aroma hacia la Pampa, sin embargo se recomienda a futuro analizar en detalle mediante un modelo adecuado que represente la dinámica de los flujos subterráneos en esta zona.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

# 7. PREdiseño simplificado de obras de embalse y obras anexas

## *7.1. Introducción*

El objetivo del presente capítulo es elaborar los prediseños simplificados de cada alternativa de embalse, incluyendo sus obras de conducción y distribución, y determinar los costos de inversión, distintas alturas de coronamiento. Finalmente se podrá estimar la curva de Costo-Altura de Muro para las tres alternativas en estudio.

Para definir las alturas de coronamiento se consideraron volúmenes útiles de 3 a 15 $hm^3$, un volumen muerto de 6 $hm^3$ y revanchas de 5 y 5,5 m según el tipo de vertedero que se consideró (frontal o lateral). Todos los cálculos y diseños se realizaron sobre la superficie definida a partir de los levantamientos topográficos indicados en forma resumida en el capítulo 5 y de manera extendida en el Volumen 5.

El costo de las conducciones más relevantes se obtuvo para diferentes rangos de caudales, obteniendo así curvas de costos para cada una de ellas.

En resumen se realizaron los diseños preliminares de las siguientes obras:

- El Embalse y sus Obras Anexas
- Conducción y Distribución
- Obras Complementarias
- Planta Mejoramiento de la Calidad del Agua

Las metodologías, cálculos y resultados se presentan en los siguientes acápites.

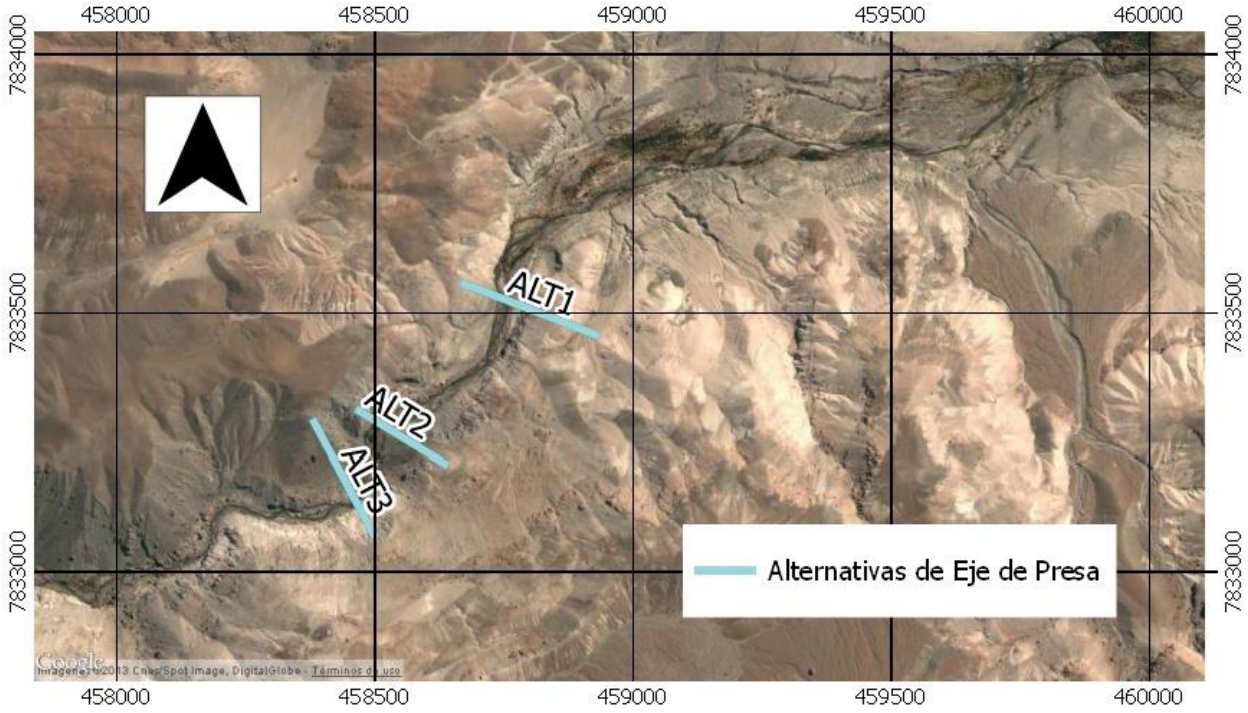
## *7.2. Ubicación del eje de la presa*

En la Figura 10.2-1, se indica la ubicación de las alternativas de muro. Se denominaron de la siguiente forma:

- ALT1: a unos 3,45 km aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte.
- ALT2: a unos 3,9 km aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte
- ALT3: a unos 4,1 km aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.2-1**
**UBICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE EJE DE MURO**




Fuente: Elaboración propia a partir de QGis

## *7.3. Determinación de la Cota de Coronamiento*

### 7.3.1. Criterios Generales de Diseño

Para el prediseño simplificado de las alternativas de embalse se han considerado los siguientes aspectos:

- **Volumen Total:** corresponde a la suma de los volúmenes muerto, útil y el asociado a la revancha del embalse. El volumen muerto se destina para la acumulación de sedimentos durante la vida útil de la obra de 50 años, mientras que el volumen útil es el destinado a la satisfacción de la demanda de riego u otro uso.

- **Caudal de diseño para la desviación del escurrimiento durante el periodo de construcción:** El período de retorno asociado a esta crecida deberá determinarse de modo tal que el riesgo hidrológico no sea mayor al 10%, de acuerdo a lo indicado en el


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

"Reglamento de Obras Mayores de la Dirección General de Aguas", 2011. Se estima un periodo de 2 años para la construcción de las obras.

- **Caudal de diseño para el evacuador de seguridad.** Los períodos de retorno para el diseño del evacuador de seguridad de los embalses de agua, serán los siguientes:
  - 1. Categoría A: 250 años
  - 2. Categoría B: 500 años
  - 3. Categoría C: 1.000 años
- Donde cada categoría y recomendación de caudal de diseño se define en el "Reglamento de Obras Mayores de la Dirección General de Aguas", 2011. En las alternativas 1, 4 y 5 se recomienda un vertedero lateral, mientras que en la alternativa 2 y 3 uno del tipo frontal. Un análisis detallado del vertedero se efectuará en los tres sitios seleccionados, incluyéndose un análisis del tipo de vertedero. En efecto, es posible que un vertedero de copa sea económicamente atractivo en comparación a uno de tipo lateral, según el sitio seleccionado, ya que además su ducto horizontal podría ser utilizado como obra de desviación para la construcción.
- **Crecida de verificación**. La capacidad del evacuador de seguridad de los embalses de agua, deberá ser verificada para las crecidas correspondientes a los siguientes períodos de retorno:
  1. Categoría A: 500 años
  2. Categoría B: 1.000 años
  3. Categoría C: 10.000 años
- **Revancha**. Para efectos de este análisis se considera sólo la revancha necesaria para la crecida de diseño, más una holgura de 1,5 m en donde se incluye de manera preliminar las revanchas por oleaje y asentamiento. En caso de que la obra evacuadora no sea capaz de desaguar la crecida de verificación se aumentará la revancha.
- **Tipo de Muro**. Para las alternativas 1, 2 y 3, se diseñó un muro tipo CFGD (Concrete Face Gravel Dam) y para la alternativa 2 se diseñó también un muro de hormigón rodillado, RCC (Roller Compact Concrete) por las características morfológicas del sitio.
- Para la presa CFGD, se consideraron taludes para el muro de H:V = 2:1, tanto para el talud de aguas arriba como para el de aguas abajo.
- Para ambos tipos de presa, CFGD y RCC, se dispone de los materiales requeridos en el mismo lugar de la presa.
- No hay finos para un muro de tierra.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Por lo anterior, ambos tipos son los más económicos y rápidos de construir. Dadas las características de fracturamiento de la roca, tanto en los estribos como probablemente en la fundación, se consideran inyecciones a diferentes profundidades a lo largo del plinto para las presas de CFGD:

- **Obra de Toma:** Para la presa CFGD se aprovecha el túnel de desvío para la instalación de la obra de toma y tubería de entrega a riego dentro de éste mismo, de acuerdo a lo que se ha visto en la construcción de embalses en los últimos años, como es el caso del embalse Santa Juana. En el caso de la presa RCC la obra de toma se proyecta a través del muro de hormigón.

### 7.3.2. Definición Caudales Obras de Evacuación

Para definir los caudales de diseño de las obras de evacuación de demasías primero necesitamos conocer la categoría del embalse conociendo su capacidad total. La Capacidad Total del embalse se compone del Volumen Muerto, Volumen Útil, y el Volumen de Revancha definido para la evacuación de Crecidas. A continuación se dan las capacidades totales de las alternativas de altura de muro.

El volumen muerto corresponde al volumen estimado de sedimentos que se acumularán en el embalse producto de los sólidos generados por la cuenca durante la vida útil del proyecto de 50 años. Se ha definido este volumen igual a 6,0 $hm^3$.

El Volumen Útil corresponde al necesario para satisfacer la demanda de agua de riego u otro uso que se le dé al embalse. Sumando el volumen útil y el volumen muerto se obtiene el volumen de umbral que corresponde al máximo volumen que el embalse puede almacenar sin presentar descargas por la obra evacuadora, que en este caso no presenta control alguno.

Para caracterizar las curvas de "costo v/s altura de muro" se consideraron volúmenes útiles de 3, 6, 9, 12 y 15 $hm^3$ para las tres alternativas analizadas. En el Cuadro 10.3.2-1 se muestra el volumen umbral (Volumen Muerto + Volumen Útil) asociado a dichos volúmenes útiles, sus cotas de fondo y la cota de umbral.

Finalmente, para obtener el volumen asociado a la revancha del embalse se calcula las dimensiones del vertedero, que dadas las condiciones existentes y el tipo de presa, se proyecta de frente o lateralmente al eje del muro.

La crecida de diseño del vertedero se asocia a la categoría a la cual pertenece el embalse (A, B o C), de acuerdo a los criterios descritos en el Manual de Obras Mayores de la DGA, que se indican a continuación:

- Categoría A: Pequeños, de altura de muro máxima mayor a 5 m e inferior a 12 m, o bien de capacidad superior a 50.000 $m^3$ e inferior a 1.500.000 $m^3$.

- Categoría B: Medianos, de altura de muro máxima mayor o igual a 12 m e inferior a 30 m, o bien de capacidad igual o superior a 1.500.000 $m^3$ e inferior a 60.000.000 $m^3$.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Categoría C: Grandes, de altura máxima de muro igual o superior a 30 m, o bien de capacidad igual o superior a 60.000.000 $m^3$.

**CUADRO 7.3.2-1**
**RESUMEN DE VOLÚMENES Y COTAS ASOCIADAS**

| Volumen Útil ($hm^3$) | Volumen Umbral ($hm^3$) | Cota Umbral | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| 3 | 9,0 | 1.962 | 1.959 | 1.958 |
| 6 | 12,0 | 1.966 | 1.963 | 1.962 |
| 9 | 15,0 | 1.969 | 1.967 | 1.966 |
| 12 | 18,0 | 1.972 | 1.970 | 1.969 |
| 15 | 21,0 | 1.975 | 1.973 | 1.972 |
| Cota Fondo | | 1.919 | 1.910 | 1.905 |

Fuente: Elaboración propia

La altura en las tres categorías corresponde a la diferencia entre la cota del suelo y la cota de coronamiento del muro.

Dado que todas las alturas consideradas de muro son mayores s los 30 metros de alto la categoría del embalse es C. Conocida la categoría se procede a calcular la altura de agua sobre el vertedero. El caudal de diseño es el asociado a un periodo de retorno de 1.000 años y su caudal de verificación es el asociado a un periodo de retorno de 10.000 años. Los caudales de Diseño y Verificación se presentan en el Cuadro 10.3.2-2 junto con las alturas de de las diferentes capacidades de embalse.

**CUADRO 7.3.2-2**
**CAUDALES DE DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE OBRAS DE EVACUACIÓN**

| Volumen Útil ($hm^3$) | Volumen Umbral ($hm^3$) | Altura Umbral | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| 3 | 9,0 | 42,5 | 48,5 | 52,5 |
| 6 | 12,0 | 46,5 | 53,0 | 57,0 |
| 9 | 15,0 | 50,0 | 56,5 | 60,5 |
| 12 | 18,0 | 53,0 | 60,0 | 63,5 |
| 15 | 21,0 | 56,0 | 62,5 | 66,5 |
| **Caudal de Diseño ($m^3/s$)** | | 180 | 180 | 180 |
| **Caudal de Verificación ($m^3/s$)** | | 320 | 320 | 320 |
| **Categoría** | | C | C | C |

Fuente: Elaboración propia


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 7.3.3. Cota de Coronamiento

Finalmente, se calculó una revancha de 5 metros para vertederos frontales y de 5,5 metros para vertederos laterales. Con lo que se obtuvo la cota de coronamiento de cada una de las diferentes capacidades analizadas (Ver Cuadro 10.3.3-1). La metodología, y cálculos de la revancha se presentan en el acápite 10.5.2.

**CUADRO 7.3.3-1**
**RESUMEN COTA CORONAMIENTO DIFERENTES CAPACIDADES**

| Volumen Umbral (hm³) | Volumen Útil (hm³) | Cota Coronamiento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| 9.0 | 3 | 1.967 | 1.964 | 1.963 |
| 12.0 | 6 | 1.971 | 1.969 | 1.968 |
| 15.0 | 9 | 1.975 | 1.972 | 1.971 |
| 18.0 | 12 | 1.978 | 1.976 | 1.974 |
| 21.0 | 15 | 1.981 | 1.978 | 1.977 |

Fuente: Elaboración propia

## *7.4. diseño estructural de la presa*

### 7.4.1. Conclusiones de la Exploración y de los Ensayes

De la exploración efectuada y de los ensayes de laboratorio realizados, se concluye lo siguiente:

- Desde el punto de vista de disponibilidad de materiales para la construcción del muro del embalse en las 3 alternativas del sitio, de los resultados de la exploración ejecutada y ensayes de laboratorio ejecutados, es que el lugar más adecuado para la construcción de la presa es la alternativa N° 1, así como la presa más adecuada para el proyecto en cuestión corresponde a una del tipo CFGD, es decir una presa de grava con pantalla de hormigón. En los sectores de empréstito, antes del carguío de camiones, se deberá respetar la banda granulométrica indicada en el Cuadro 10.4.1-1. Sin desmedro de lo anterior, se realizó el cálculo de estabilidad de una presa tipo RCC para comparar y se realizaron los diseños y cubicaciones, lo que permitió descartar este tipo de muro.

- Para la construcción de la presa, se recomienda la utilización principalmente de grava algo arenosa, tamaño máximo 500 mm, compactada hasta alcanzar el 80% de la densidad relativa. Para el "Cojín" de


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

la pantalla de hormigón (Cushion), directamente bajo ella, en un espesor mínimo de 2,0 m se colocará una grava de tamaño máximo de 3" y máximo un 5% de finos bajo 0,08 mm.

**CUADRO 7.4.1-1**
**BANDA GRANULOMÉTRICA MURO**

| Especificación | Distribución | Diámetro Nominal (mm) | Peso Específico de Partículas mínimo 2,6 t/m³ |
|---|---|---|---|
| **Tamaño Grueso >76,2 mm (50%)** | 100% menor que | 500 | |
| | 10% mayor que | 200 | |
| | 20 % mayor que | 180 | |
| | 20% mayor que | 125 | |
| **Gravas Arenosas <76,2 mm (50 %)** | % Grava 70% - 80% (Tamaño menor a 76,2 mm)<br>% Arena 10% – 25% (Tamaño menor a 5 mm ó malla N°4)<br>% de Finos 1% – 5% (Tamaño menor a 0,08 mm ó Malla N°200 ASTM) | | |

Fuente: Geofun

- Para sectores del área de empréstito que presente mucho material fino (mayor a 5% bajo 0,08 mm) será necesario "parrillar" el material para obtener las partículas sobre 76,2 mm (3'') si se requiere;

- Para la construcción del muro del embalse, primero que todo, se realizará un escarpe de 30 cm de espesor máximo en toda el área de su emplazamiento. Retiro del material más fino existente, capa vegetal, arenas arcillosa y arenas limosas, de modo que la presa quede apoyada en la grava compacta detectada en la exploración o directamente sobre el conglomerado;

- En ambos estribos de la presa, se excavará hasta alcanzar la roca fracturada, para la fundación del "plinto";

- Se colocarán los materiales de relleno, en capas horizontales de espesor suelto no superior a 1,0 m, las que se compactarán con rodillo vibratorio de peso estático igual o superior a 15 toneladas. El equipo compactador se pasará un mínimo de 6 veces por cada punto de cada capa. En sectores estrechos, entorno y sobre los ductos hasta una altura mínima de 2,0 m; se usará equipo de menor tamaño y se disminuirá el espesor de capa y del tamaño máximo del granular colocado (grava arenosa T.M 4"), previa


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

autorización de la inspección técnica, de manera de conseguir rellenar todos los espacios adecuadamente. Los rellenos se colocarán de manera de cumplir con las líneas y niveles indicados en los planos;

- Respecto del suelo de fundación del muro del embalse, este corresponde a una grava arenosa compacta, por lo que las propiedades mecánica de resistencia al corte y esfuerzo deformación son adecuadas para la construcción del muro del embalse;

- Para el control de las filtraciones por debajo del muro, se dispondrá de una línea de inyecciones, que inicialmente deberá alcanzar una profundidad media de 2,0 m de modo de alcanzar con certeza la roca de mejor calidad;

- En cuanto a la posibilidad de que produzca erosión en los taludes en el área de inundación del embalse, no existe la certeza de que sea sólo local, dada la matriz areno limosa de sobrecarga sobre el suelo;

- En general el suelo para el área de inundación corresponde a una grava arenosa aguas abajo, y desde una arena limosa a limo arenoso para el sector aguas arriba de este. El suelo del área de inundación se muestran bien consolidado.

### 7.4.2. Propiedades Mecánicas

En terreno, el material de relleno del muro será controlado a través de su banda granulométrica, e in situ, a través del control de su densidad relativa Dr>80%. Respecto del suelo de fundación, las propiedades mecánicas del estrato de grava arenosa, serán verificadas a través de pruebas de Carga In-situ, según la norma ASTM D1194-94 y a través de densidades relativas Dr. De la exploración realizada, antecedentes revisados (E. Bowles, "Foundation Analysis and Design". 5a Ed. Mc.Graw-Hill. Pag.163 y de Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering rock mass classifications. New York: Wiley.), de propiedades medidas en suelos de similares características y origen geológico se han adoptado conservadoramente para efectos de diseño, las siguiente propiedades geomecánicas de resistencia al corte y esfuerzo deformación.

***Suelo de Fundación (*Conglomerado)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\phi$ | = 33 | | , ángulo de fricción interna |
| c | = 10,0 | $t/m^2$ | , cohesión |
| $\gamma$ | = 2,50 | $t/m^3$ | , peso unitario natural |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| | | | |
|---|---|---|---|
| E | = 40000 | $t/m^2$ | , módulo de Young |
| Ed | = 3E | $t/m^2$ | , módulo de Young para cargas cíclicas |
| μ | = 0,30 | | , razón de Poisson no drenada |

***Muro (Grava algo arenosa $D_r$>80%)***

| | | | |
|---|---|---|---|
| ϕ | = 38º | | , ángulo de fricción interna |
| c | = 1,5 | $t/m^2$ | , cohesión |
| γ | = 2,10 | $t/m^3$ | , peso unitario natural |
| E | = $4500\sqrt{z}$ | $t/m^2$ | , módulo de Young si z es la profundidad |
| Ed | = 3E | $t/m^2$ | , módulo de Young para cargas cíclicas |
| μ | = 0,25 | | , razón de Poisson no drenada |

### 7.4.3. Diseño

## 7.4.3.1. Ancho de Coronamiento

El ancho de la presa en el coronamiento se estimó con tres expresiones diferentes. Primero utilizando la fórmula siguiente del Bureau of Reclamation:

$$W = \frac{Z}{5} + 10$$

donde:

W = ancho del coronamiento, en pies

Z = altura de la presa, en pies

Aplicando la expresión anterior para Z = 234,55 pies (71,5 m) se obtiene un ancho de coronamiento de 56,91 pies que equivalen a 17,3 m.

Otra fórmula que se puede aplicar para estimar el ancho del coronamiento es la de la norma española de grandes presas que indica:

$$C = 3 + 1{,}5\sqrt[3]{A - 15}$$

donde:

C = ancho del coronamiento, en metros


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

A = altura de la presa, en metros

Aplicando la fórmula anterior para una altura de 71,5 m se obtiene un ancho de coronamiento de 9,23 m. La norma además indica que en zonas de sismicidad alta (como en este caso) se debe aumentar la anchura del coronamiento en un 50%, lo que resulta en 13,83 m.

Los ingenieros Jorge Gálvez y Luis Vidal propusieron una expresión para determinar el ancho del coronamiento basándose en las grandes presas existentes en Chile, la expresión matemática es la siguiente:

$$b = -36\,H^{-0.20} + 25$$

donde:

b = ancho de coronamiento en m.

H = altura de la presa en m

Aplicando la fórmula anterior se obtiene un ancho de coronamiento de 9,67 m. Para zona de sismicidad alta los autores proponen aumentar el ancho del coronamiento en un 25%, por lo que el ancho resultante es de 12,09 m.

Combinando los resultados obtenidos de las expresiones anteriores, se ha adoptado conservadoramente por un ancho de coronamiento de 17,0 m.

## 7.4.3.2. Cálculo de Estabilidad de la Presa

La inclinación de los taludes que constituirá el muro del embalse serán de aproximadamente V : H = 1,0 : 2,0 para el talud de aguas arriba y de aguas abajo.

El análisis de estabilidad de los taludes que constituyen el muro de la presa, con embalse vacío, se realizó con el programa de computación Slide. Respecto del análisis sísmico, se ha utilizado una metodología simplificada pseudo-estática, que introduce las cargas cíclicas como una fuerza inercial horizontal. En este proceso se determina la aceleración de fluencia, la que corresponde a la aceleración máxima para la cual el muro presenta un factor de seguridad igual a 1,0.

Para el cálculo de la aceleración de fluencia, se han considerado recomendaciones, incluidas en el Cuadro 10.4.3.2-1, entregadas por distintos autores respecto de este tema:

Conservadoramente se ha adoptado $k_h$=0,75 $a_{max}$/g. Para estos efectos se ha considerado una aceleración máxima sísmica horizontal en el sitio igual a 0,20 g; por lo que $K_h$=0,15.

Los factores mínimos de seguridad considerados en los cálculos, son de 1,5 en el caso estático y de 1,0 en el caso sísmico.

**CUADRO 7.4.3.2-1**
**COEFICIENTES SÍSMICOS DE DISEÑO**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| Autor | $k_h$ | Observación |
|---|---|---|
| Terzaghi (1950) | $k_h$=0,1; $k_h$=0,2 y $k_h$=0,5 | Para sismos severos, violentos y destructivos, y sismos catastróficos respectivamente |
| Noda&Uwave(1976) | $k_h=a_{max}/g$ | Si $a_{max}\leq 2,0 m/seg^2$ |
| | $k_h=0,33\cdot(a_{max}/g)^{0,33}$ | Si $a_{max}>2,0 m/seg^2$ |
| Seed (1979) | $k_h$=0,10 $FS_{sísmico}$>1,15 | Grandes deslizamientos y sitios cercanos a la fuente sísmica, capaz de generar un sismo de Magnitud 6,5 |
| | $k_h$=0,15 $FS_{sísmico}$>1,15 | Grandes deslizamientos y sitios cercanos a la fuente sísmica, capaz de generar un sismo de Magnitud 8,5 |
| Seed (1980) | $k_h$=0,15 $FS_{sísmico}$>1,15 | Siempre que no exista una pérdida significativa de resistencia de los materiales durante el sismo (suelos arcillosos, arenas drenadas y suelos no-cohesivos densos). Además, sugiere verificar deformaciones con método de Newmark (1965) |
| Marcuson (1981) | $k_h=0,33\cdot a_{max}/g$ a $k_h=0,50\cdot a_{max}/g$ | Considera posible amplificación ó amortiguamiento |
| Krinitzsky et.al(1993), Taniguchi& Sasaki (1986) | $k_h=0,65\cdot a_{max}/g$ | Recomendada para deslizamiento de magnitud intermedia |
| Seed & Martin(1966), Dakuolas& Gazetas (1986) | $k_h=a_{max}/g$ | Para un talud pequeño |
| | $k_h=0,65\cdot a_{max}/g$ | Deslizamiento de magnitudintermedia |
| | Idem Seed (1979) | Grandes deslizamientos. |
| Hynes-Griffin &Franklin (1984) | $k_h=0,5\cdot a_{max}/g$ | |
| Saragoni (1993) | $k_h=0,3\cdot a_{max}/g$ | Si $a_{max}\leq 6,6 m/seg^2$ |
| | $k_h=0,22\cdot a_{max}/g$ | Si $a_{max}>6,6 m/seg^2$ |
| Kramer (1996) | $k_h=0,5\cdot a_{max}/g$ | Apropiado para muchas obras, pero se acota que no es una regla general. |
| Division of Minesand Geology,California (1997) | $k_h$=0,15 | |

Fuente: Varios Autores Indicados en el Cuadro.

De los cálculos efectuados, con la metodología indicada, los factores de seguridad obtenidos son los indicados en el Cuadro 10.4.3.2-2.

**CUADRO 7.4.3.2-2**

**FACTOR DE SEGURIDAD TALUDES PRESA**

| Coeficiente sísmico Horizontal Kh | Factor de seguridad FS |
|---|---|
| Kh = 0,00 (estático) | 1,831 |
| Kh = 0,15 (pseudo-estático) | 1,318 |
| Kh = 0,30 (Ky) | 1,000 |

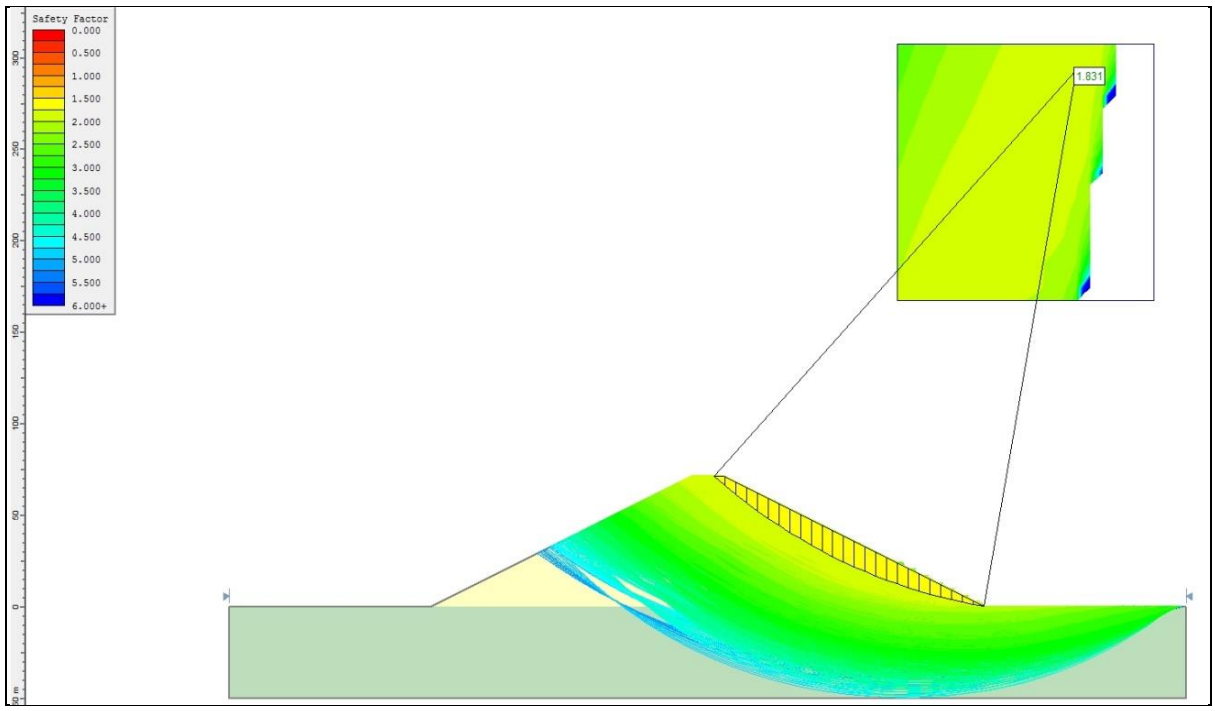
Fuente: Geofun



Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.4.3.2-1**
**ESTABILIDAD ESTÁTICA GLOBAL DE LA PRESA**
**F.S = 1,831**



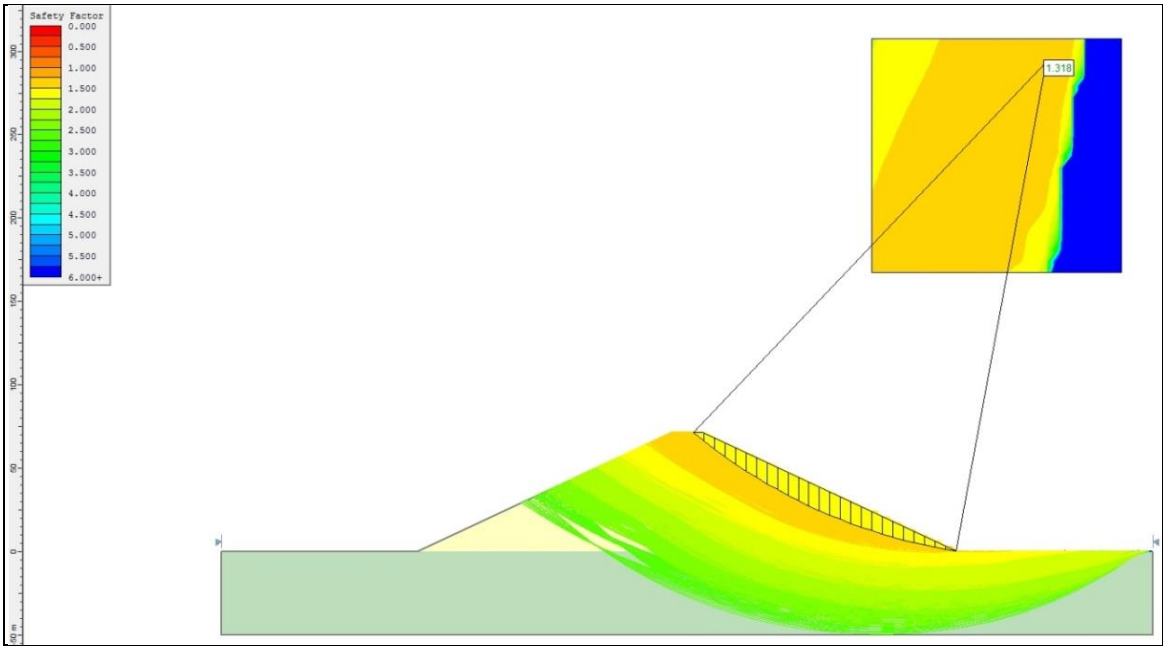

Fuente: Elaboración propia a partir de programa Slide

De los análisis realizados se concluye que los taludes adoptados para la presa, son adecuados desde el punto de vista estático y sísmico.

Respecto del caso del embalse lleno, el análisis de estabilidad efectuado entrega resultados mayores a los mostrados anteriormente, ya que al existir una pared impermeable y estar el embalse lleno, el agua actúa como una fuerza resistente, aumentando el F.S. del talud.

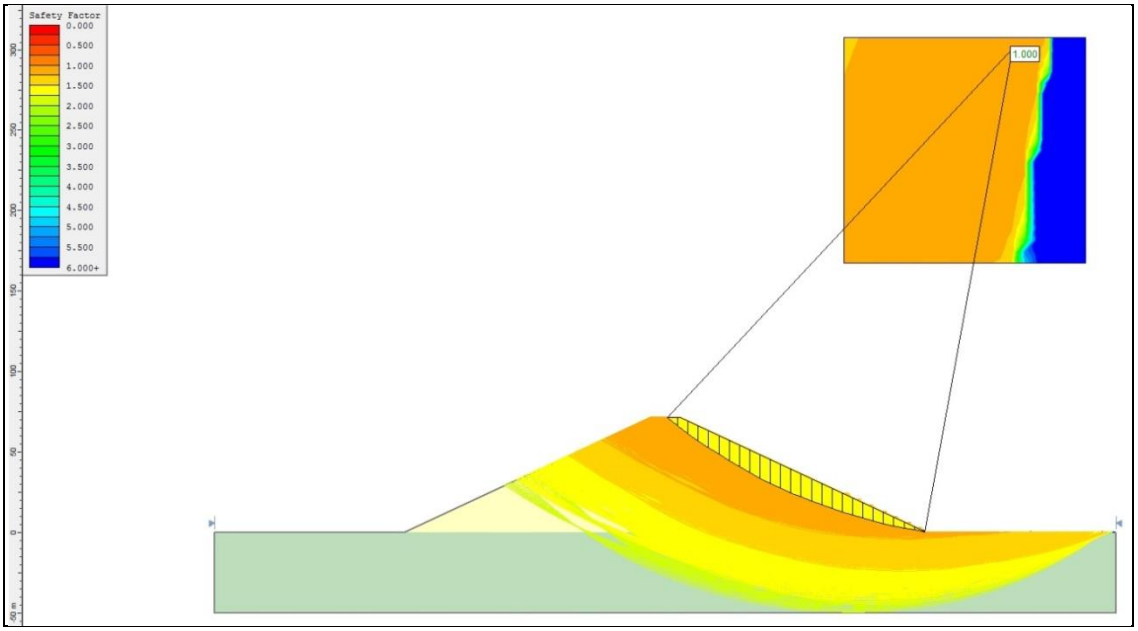

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.4.3.2-2**
**ESTABILIDAD SÍSMICA GLOBAL DE LA PRESA (KH = 0,15)**
**F.S = 1,318**




Fuente: Elaboración propia a partir de programa Slide

**FIGURA 7.4.3.2-3**
**DETERMINACIÓN DE LA ACELERACIÓN DE FLUENCIA (KY) DE LA PRESA**
**KY = 0,3**




Fuente: Elaboración propia a partir de programa Slide

### 7.4.4. Calculo Estabilidad RCC

## 7.4.4.1. Introducción

Dado que se trata de una estructura de hormigón monolítica, presa de gravedad, el diseño se realizará a partir del análisis de su estabilidad, tanto al vuelco como al deslizamiento.

## 7.4.4.2. Condiciones Generales de Estabilidad

Para que este cuerpo esté en equilibrio, el sistema de fuerzas que actúan sobre él debe dar una resultante nula.
Las presas de gravedad trabajan prácticamente con fuerzas contenidas en planos verticales normales a la coronación, por lo que el cálculo es bidimensional.
Reducido el análisis a un estado plano, la estabilidad exige la nulidad de las componentes verticales y horizontales de las cargas solicitantes, así como la suma de momentos respecto de un punto cualquiera del plano. En estricto rigor, este análisis se conduce en verificar que los factores de seguridad al vuelco y el deslizamiento sean suficientes como para garantizar la estabilidad de la estructura.
En el caso sísmico, en el cálculo de estabilidad al deslizamiento y al vuelco, se incorpora un nuevo elemento solicitante, que es la carga inercial horizontal que actúa en el centro de masa

del muro. Esta carga se calcula como un porcentaje de la masa de la estructura y está en función del coeficiente sísmico horizontal.

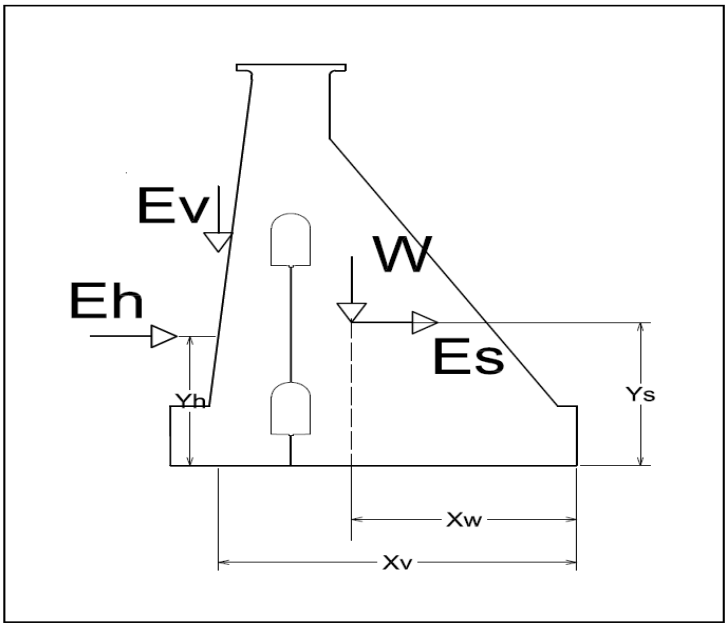
En la Figura 10.4.4.2-1, se muestra el detalle geométrico del muro, para su altura máxima, considerando las verificaciones antes indicadas y los parámetros geomecánicos de la roca.

Para el cálculo de la carga sísmica horizontal, se ha determinado como primer paso el valor del coeficiente sísmico horizontal "kh" a utilizar; ello basado en la literatura sobre la que se basa el desarrollo de este tipo de proyecto y la experiencia nacional. En el Cuadro 10.4.3.2-1 entrega algunos valores para los coeficientes recomendados por distintos autores.

Conservadoramente se ha adoptado $k_h$=0,66 $a_{max}$/g. Para estos efectos se ha considerado una aceleración máxima sísmica horizontal en el sitio igual a 0,30g; por lo que $K_h$=0,20. De este modo la carga inercial horizontal será igual Es=0,20·W.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.4.4.2-1**
**DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA PRESA. CASO ESTÁTICO**




Fuente: Elaboración propia.

Factor de Seguridad al Deslizamiento

- Carga Resistente: $$T = \frac{W \cdot tg\phi}{K_1} + \frac{C \cdot A}{K_2}$$

Se debe notar, que el factor de seguridad en este caso se aplica a las distintas componentes de la resistencia al corte de la interface roca-hormigón, a través de los coeficientes K.
Donde:

Carga Resistente caso Estático ($T_1$)

K1 = 2,0

K2 = 5,0

Verificar $T_1 > E_h$

Carga Resistente caso sísmico con embalse lleno ($T_2$)

K1 = 1,3

K2 = 4,0


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Verificar T2 > (Eh+Es)

Factor de Seguridad al Vuelco

- Momento resistente: $Mr = W \cdot (Xw) + Ev \cdot (Xv)$
- Momento Volcante Estático: $Mv = Eh \cdot Yh$
- Momento Volcante Sísmico con embalse lleno: $Mvs = Eh \cdot Yh + Es \cdot Ys$

En el Cuadro 10.4.4.2-1 y Cuadro 10.4.4.2-2, se resumen los resultados de los análisis efectuados, para tres alternativas geométricas del muro. El detalle de los cálculos se encuentra en el Anexo 10-1.

**CUADRO 7.4.4.2-1**
**RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MURO DESLIZAMIENTO**

| Altura Muro (m) | Área Sección ($m^2$) | W (t/m) | Es (t/m) | Xw (m) | Ys (m) | Eh (t) | Ev (t) | Xv (m) | Yh (m) | A ($m^2$) | T1 Estático | T2 Sísmico | T1 Estático | T2 Sísmico |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H=72 m | 2848 | 7120 | 1424 | 43,00 | 24,26 | 2211 | 0 | 74 | 22,17 | 74 | 2459 | 3741 | OK | OK |
| H=54 m | 1450 | 3625 | 725 | 28,76 | 18,36 | 1176 | 0 | 50 | 16,17 | 50 | 1276 | 1935 | OK | OK |

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 7.4.4.2-2**
**RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MURO VUELCO**

| Altura Muro (m) | W | Es | Xw | Ys | Eh | Ev | Xv | Yh | Mr (t·m) | Msubpresion (t·m) | Mv (t·m) | Mvs (t·m) | FS ESTATICO | FS SISMICO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H=72 m | 7120 | 1424 | 43,00 | 24,26 | 2211 | 0 | 74 | 22,17 | 306160 | 19106 | 49013 | 83557 | 4,5 | 3,0 |
| H=54 m | 3625 | 725 | 28,76 | 18,36 | 1176 | 0 | 50 | 16,17 | 104255 | 8547 | 19014 | 32326 | 3,8 | 2,6 |

Fuente: Elaboración propia

Capacidad de Soporte

La capacidad de soporte, se ha calculado con el método de Hansen (1970), obteniéndose conservadoramente la siguiente expresión para su evaluación:

$$Qad = 753 \cdot \left(1 + 0.85 \cdot \frac{B}{L}\right) + 30 \cdot B \cdot \left(1 - 0{,}4 \cdot \frac{B}{L}\right)$$

Por ejemplo, para la máxima capacidad, se tiene un largo medio del muro (L) de 70 m y un ancho medio (B) de 25 m se obtiene el siguiente valor para $q_{ad}$:

$q_{ad}$ = 2.871 t/m$^2$

El empuje total de agua sobre el muro en el caso estático es 14.197 t·m y el peso total del muro es 77.000 t aproximadamente; por lo que la tensión de contacto máxima es:

$$\sigma_{max} = \frac{W}{L \cdot B} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e}{L}\right)$$

W = 586080 t

e = 586080/49013 = 0.0836

L = 74 m

B = 180

$\sigma_{max}$ = 44,29 t/m$^2$

En conclusión: $q_{ad} >> \sigma_{max}$

El comportamiento estructural de la presa será monitoreado mediante la observación directa durante visitas periódicas y las mediciones de los instrumentos instalados y su evolución en el tiempo.

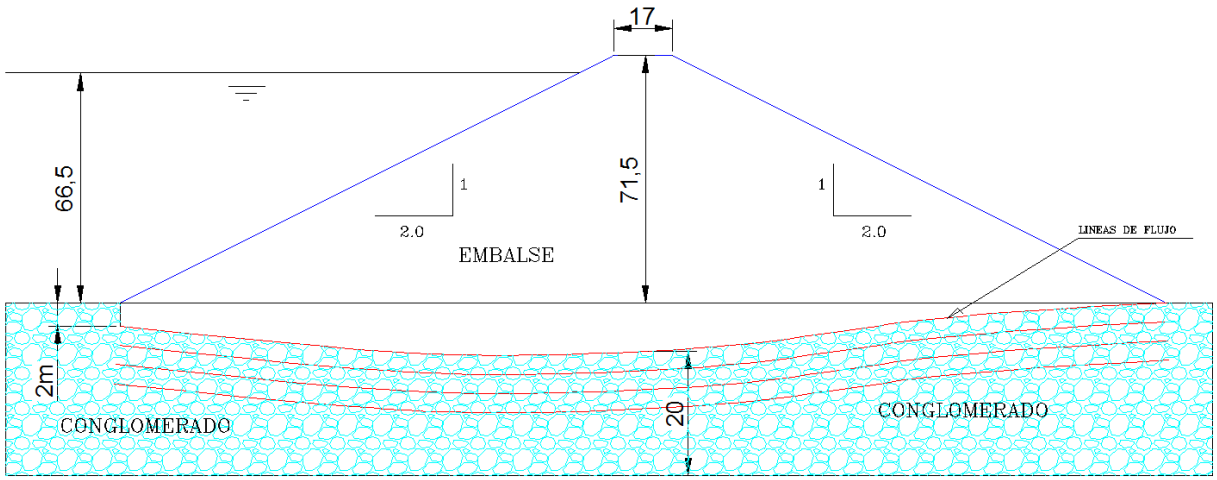
## 7.4.5. Cálculo de Filtraciones

A partir de los ensayes de permeabilidad efectuados, se puede adoptar conservadoramente un coeficiente de permeabilidad k = $10^{-7}$ m/s, para la roca con un alto grado de fracturación por debajo de las líneas de inyecciones.

El camino que recorre el agua filtrada es de aproximadamente 303 m, considerando una inyección de hormigón hasta una profundidad de 2 m, la altura del agua es aproximadamente 66,5 m y se ha considerado que a una profundidad de 20 m, el estrato de conglomerado es suficientemente impermeable. Luego, el gradiente hidráulico para el embalse lleno es i= 0,22. El gradiente se obtiene de la división entre la diferencia de altura del agua para situaciones ya estabilizada, y por el camino que recorren las líneas de flujo. En este sentido, la diferencia de altura viene dada por 66,5 m (embalse casi lleno, considerando una altura de 71,5 m), y el camino recorrido viene dado por la hipotenusa formada por la línea de inyecciones (considerando 2 m) y el largo del muro (17 + 2 ·143). Finalmente, el gradiente resulta: i = 66,5/ 303,0 = 0,22. En la Figura 10.4.5-1 se muestra un esquema de las líneas de flujo bajo el muro.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.4.5-1**
**ESQUEMA DE LÍNEAS DE FLUJO BAJO EL MURO**




Fuente: Elaboración propia

Luego el caudal que se infiltra será por metro lineal de muro, y será aproximadamente:
Q = k i A

Q = $10^{-7}$ m/s x 0,22 x 20 $m^2$

Q = 4,4 x $10^{-7}$ $m^3$/s = 1,584 L/h = 38,016 L/día

F.S = 3 =>Q = 1,47 x $10^{-7}$ $m^3$/s = 0,528 L/h = 12,674 L/día

## 7.4.6. Inyecciones

Si se requiere o se estima necesario, en los estribos del muro, se realizarán inyecciones para el llenado de las grietas. Estas se realizarán en una línea, utilizando lechada de cemento, relación a/c = 0,7. La profundidad máxima de la inyección, disminuirá proporcionalmente con la altura de agua del embalse, partiendo en 55 m de profundidad, en las laderas cercanas al fondo del valle, para quedar con un mínimo de 2,0 m, a nivel de la altura máxima de aguas.
La ejecución de las inyecciones se realizará después de construido el muro, desde el pie del muro. La presión de ejecución disminuirá en la zona de contacto Hormigón-Roca, de modo de evitar el levantamiento de la roca, frente al plinto.
De modo de llevar un control, con la inyección se deberá ejecutar con un número GIN constante (Presión de inyección por volumen inyectado).
La dosificación recomendada para la inyección es la que se presenta en el Cuadro 10.4.6-1

**CUADRO 7.4.6-1**
**LECHA DE INYECCIÓN**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| Relación A / C 0,70 | | | |
|---|---|---|---|
| **Dosificación para 1 Saco** | | | |
| | kilos | Pe | Litros |
| Cemento | 42,5 | 3 | 14,17 |
| Agua | 29,75 | 1 | 29,75 |
| Rheobuild 1000 / 3% | 1,275 | 1,22 | 1,05 |
| Pozzolit 122 HE / 2% | 0,85 | 1,22 | 0,7 |
| Totales | 74,375 | | 45,67 |
| Peso específico Teórico | 1,575 gr,/cm$^3$ | | |
| Viscosidad | 32 a 36 s, | | |
| Decantación Max, | 5% | | |
| Resistencia a la compresión (Mpa) | 20 (7 días) | 26 (14 días) | 30 (28 días) |
| Rheobuild 1000 | Superplastificante | | |
| Pozzolit | Reductor de agua | | |

Fuente: Geofun

El rendimiento máximo recomendado es de 5 sacos de cemento por metro cúbico de mezcla es decir 228 l/m; por lo que el número GIN = 3.078 bar·l/m. Se deberá definir en terreno el espaciamiento horizontal entre filas de inyección, a través de pruebas cada 5,0 m, procediendo posteriormente a inyectar cada 1,0, 1,5, 2,0 y 2,5 m, se aprobará como mínimo una reducción del 75% de las inyecciones, en perforaciones contiguas.

Una vez definida la grilla de inyección, se ejecutarán inyecciones de prueba cada 20 m, con la misma razón agua/cemento y N° de GIN utilizado con anterioridad, por lo que debe existir un registro detallado de estos valores.

Si bien el método GIN es auto-regulante en función de la calidad de la roca, es oportuno como regla general desarrollar un programa de ensayos preliminares para definir los parámetros esenciales (Valor GIN, distancia taladros, etc.) en cada una de las zonas geológicas y geomecánicas interesadas por la inyección. En lo posible los tramos de prueba serán incorporados en la obra definitiva ya que a no haber llegado a los resultados esperados, siempre se puede completar en tratamiento de la roca con inyecciones adicionales.

Respecto del sellado de grietas, el U.S. Bureau Reclamation establece una profundidad mínima para el sellado de discontinuidades:

$d = 0{,}007b \cdot H + 1{,}5m$

Donde d es la profundidad de limpiado y sellado; b es el ancho de la fractura y H es la altura de agua sobre el sello de fundación. Es este caso se debiera considerar el sello de las inyecciones como sello de fundación.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## *7.5. Diseño de obras hidráulicas*

### 7.5.1. Aspectos Generales

A continuación se presentan los cálculos realizados para la definición de las dimensiones y características hidráulicas de cada una de las alternativas de altura de muro en la quebrada de Aroma. En particular se obtendrán:

- Diseños hidráulico de Obras de Evacuación de Crecidas
  - Revancha del Embalse proyectado
  - Canal Colector y Grada
  - Canal de Descarga
  - Rápido de Descarga
  - Disipador de Energía
- Diseño hidráulico de Obras Anexas
  - Obra de Captación y Entrega
  - Túnel de Desvío y Ataguía

### 7.5.2. Revancha del Embalse Proyectado

#### 7.5.2.1. Definición de la Revancha

La revancha es la diferencia de elevación entre el coronamiento del muro y el nivel de la cota umbral. El vertedero de seguridad vierte los excedentes de agua del embalse, proveniente de crecidas, cuando el nivel de ésta sobrepasa la cota umbral.
La revancha se calcula como la suma de la revancha por oleaje, revancha por asentamiento y revancha altura por carga del vertedero para el caudal de diseño. Luego se verifica que esta sea mayor a la carga para la crecida de verificación. En caso de que la obra evacuadora no sea capaz de desaguar la crecida de verificación se aumentará la revancha.
A continuación se presentan los cálculos para la estimación de cada una de las revanchas indicadas en el párrafo anterior.

#### 7.5.2.2. Revancha por Altura de Carga de Vertedero

##### *a) Tipo de Vertedero*

Para obtener la revancha por carga se debe definir el tipo de vertedero que considera el proyecto. Generalmente, para presas de grava se utiliza un vertedero lateral que


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

evita los costos y dificultades constructivas de la materialización de una obra de evacuación en el mismo muro de la presa.
En este caso en particular, a pesar de que la presa proyectada en el sitio ALT1 es de grava, se diseña un vertedero frontal cuando la cota de umbral supera los 1967 metros, debido a que las características propias del terreno lo permiten. El resto de las alternativas se proyectaron con vertederos laterales.
Además se realizó el diseño de una presa RCC, con vertedero frontal, en los sitios ALT2 y ALT3 con el fin de comparar los costos de inversión entre este tipo de muro y uno de grava. Esta comparación permitió descartar las presas de hormigón como solución.
El tipo de cresta del vertedero es Ogee para todas las capacidades de embalse analizadas.

### *b) Metodología utilizada*

Se utilizó la metodología incluida en la sección 189 del texto Diseño de Presas Pequeñas del USBR, para los cálculos hidráulicos.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### *c) Determinación del Largo L del Vertedero*

El caudal de diseño del vertedero corresponde al asociado a la crecida de periodo de retorno de 1.000 años y es igual a 180 $m^3/s$.

Para obtener el largo L del vertedero se consideró una altura de descarga cercana a los 4 metros Luego se realizó un tanteo de las posibles longitudes de Vertedero L, utilizando un vertedero tipo Ogee, que tiene coeficientes de descarga mayores que otros tipos de vertedero (por su forma que se asemeja a lámina de agua) lo que minimiza la longitud L.

La ecuación para el vertedero está dada por:

$$Q = Co \cdot L \cdot He^{3/2}$$

Donde:

Q = representa es el caudal vertido ($pie^3/s$)

C = coeficiente de descarga ($pie^{0,5}/s$)

L = longitud del vertedero (pie)

He = carga de energía (pie)

El coeficiente de descarga Co de un vertedero tipo Ogee según el USBR se obtiene de la curva indicada en la Figura 10.5.2.2-1. P corresponde a la altura del paramento aguas arriba del vertedero y se define como al diferencia entre la cota de fondo aguas arriba del vertedero y la cota de su umbral.

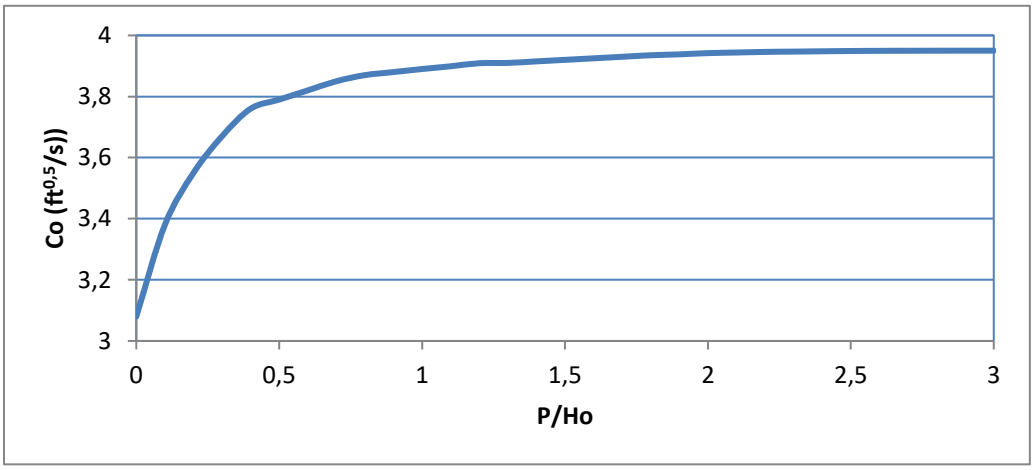
Los resultados de este tanteo se presentan en el Cuadro 10.5.1.2-1. El valor de P representa la altura del paramento aguas arriba del vertedero.

**CUADRO 7.5.2.2-1**
**DETERMINACIÓN LARGO VERTEDERO**

| Q ($m^3/s$) | L (m) | P (m) | P/Ho | Co ($ft^{0,5}/s$) | Ho (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 180 | 15 | 2 | 0,6 | 3,82 | 3,19 |
| 180 | 18 | 2 | 0,7 | 3,85 | 2,81 |
| 180 | 20 | 2 | 0,76 | 3,85 | 2,62 |
| 180 | 25 | 2 | 0,89 | 3,87 | 2,25 |

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 7.5.2.2-1**
**COEFICIENTE DE DESCARGA PARA LAS CRESTAS DE CIMACIO EN PARED VERTICAL**




Fuente: Elaboración propia

Considerando que Ho representa la carga para el caudal de diseño, se eligió L = 20 m, para la determinación de los cálculos.

### *d) Determinación de Coeficiente de Descarga*

Una vez adoptada la longitud del vertedero se realiza el ajuste del Coeficiente de Descarga según su relación P/Ho y su talud de aproximación, finalmente se recalcula la carga Ho.

La corrección según la relación P/Ho se realizó al utilizar la Figura 10.5.2.2-1, por lo tanto sólo falta realizar la corrección por el talud de aproximación. Este talud es 3:1 (V:H). Utilizando la Fig 191 - Bureau of Reclamation se obtiene lo siguiente:

| | | | |
|---|---|---|---|
| P/Ho | = | 0,76 | - |
| Co | = | 2,132 | ($m^{0,5}$/s) |
| Ho' | = | 2,61 | (m) |

Se obtiene finalmente un coeficiente de descarga de 2,132 $m^{0,5}$/s, con una carga Ho de 2,61 m.

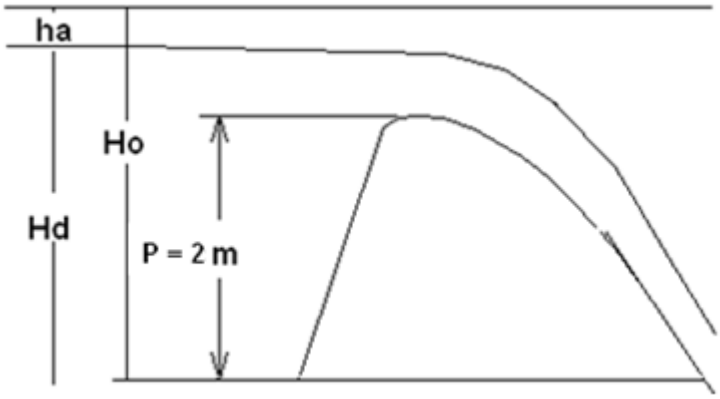
### *e) Determinación de Altura Agua sobre Umbral (Hd) y Altura de Velocidad (ha)*

Para determinar el valor de Hd y ha se procedió de la siguiente manera: primero se tantea un valor de Hd cercano al de Ho (Ho>=Hd) lo que permite calcular la velocidad del flujo inmediatamente aguas arriba del vertedero obteniendo así la altura de


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

velocidad ha, luego se verifica si Ho menos ha es igual al valor de Hd. Se itera hasta que se obtiene el valor deseado. Además se realiza la verificación del coeficiente de descarga utilizando la relación He/Ho.

**FIGURA 7.5.2.2-2**
**ESQUEMA VERTEDERO**




Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo una altura de escurrimiento de Hd igual a 2,4 m y una altura de velocidad ha de 0,214 m. Los cálculos se encuentran en el Anexo 10-2, Hoja "Vert.L"**.**

La verificación de la relación $Ho/Ho_{efectivo}$ consiste en determinar si las pérdidas por transporte desde el punto inmediatamente aguas arriba del vertedero son relevantes. Se calcula la pérdida fricción para determinar $Ho_{efectivo}$ a partir de un balance de energía, luego se calcula la relación $Ho/Ho_{efectivo}$, si el valor de la relación es diferente a uno se debe corregir el coeficiente de descarga, por el contrario, si el valor es 1, se validan los valores de Hd y ha.

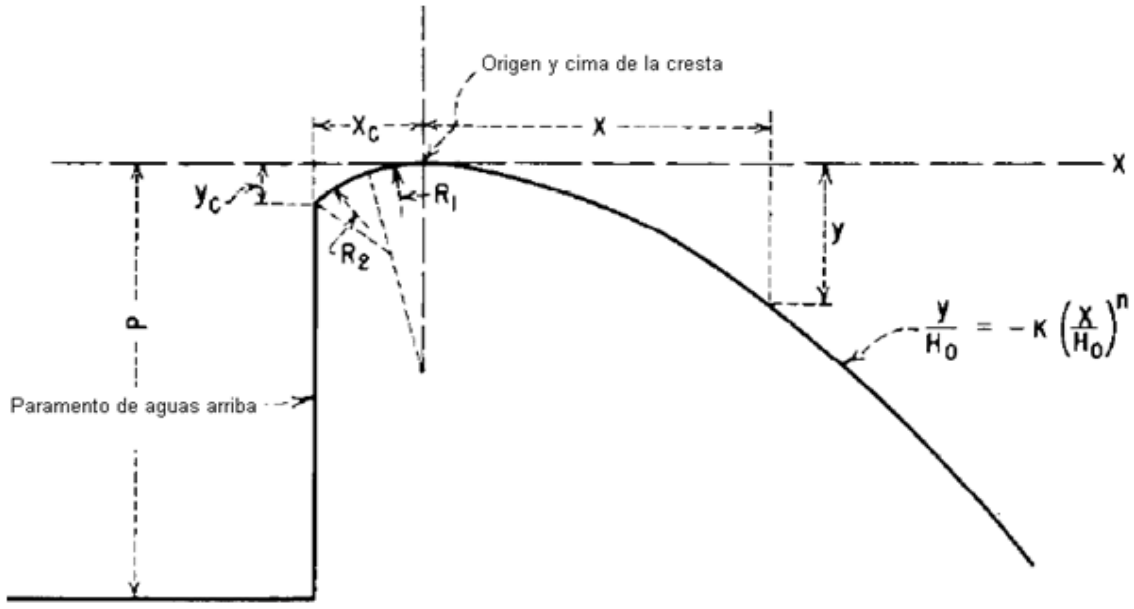
En este caso la relación es igual a uno, por lo tanto no se realizan cambios.

### *f) Determinación del Perfil Vertedero Ogee*

El vertedero Ogee tiene la forma indicada en la Figura 10.5.2.2-3, y está definido por las ecuaciones que aparecen en la misma figura. Dichas ecuaciones determinan el talud aguas arriba y abajo de la cresta.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.5.2.2-3**
**PERFIL VERTEDERO OGEE**




Fuente: Diseño de Pequeñas Presas, US Bureau of Reclamation (USBR).

Donde P es el paramento de aguas arriba (m), Ho: carga sobre el vertedero (m); K, n, Xc, Yc, R2 y R1 factores para la determinación de las secciones con la forma de la lámina vertedera definidos a partir de las Figuras 187 del Bureau of Reclamation. Estos factores obtienen a partir de la razón ha/Ho.

En el Cuadro 10.5.2.2-2 se presentan los valores obtenidos de la Figura 187 del Bureau of Reclamation.

**CUADRO 7.5.2.2-2**
**FACTORES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FORMA DEL VERTEDERO OGEE**

| Factor | Valor |
|---|---|
| Xc | 0,59 |
| Yc | 0,20 |
| R1 | 1,45 |
| R2 | 0,47 |

Fuente: Elaboración propia

La ecuación del perfil de aguas abajo es:

$$y = -0{,}231 \cdot x^{1{,}818}$$


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### *g) Verificación para Carga Asociada a Periodo de Retorno de 10.000 años*

El caudal asociado a la crecida de 10.000 años es de 320 $m^3/s$. Se mantienen los diseños obtenidos para el caudal de diseño. Para obtener el valor Ho, Hd y ha se realizaron los mismos procedimientos y cálculos. Los valores obtenidos se presentan en el Cuadro 10.5.2.2-3.

**CUADRO 7.5.2.2-3**
**ALTURAS ASOCIADAS A CRECIDA DE VERIFICACIÓN**

| Altura | Valor (m) |
|---|---|
| Ho | 3,87 |
| Hd | 3,42 |
| ha | 0,44 |

Fuente: Elaboración propia

### *h) Corrección por Sumersión*

En la verificación del funcionamiento del canal colector realizado en el Acápite 10.5.3.5 para el caudal de 10.000 años, se determina que existe una sumersión del vertedero lateral a causa de las alturas de escurrimiento que se generan en dicho canal. Por ésta razón, se corrigió el coeficiente de descarga Co utilizando la Fig. 194 del Bureau of Reclamation. Está corrección determinó que el coeficiente de descarga disminuye a 2,07 $m^{0,5}/s$ y que las alturas asociadas a dicho Co son las indicadas en el Cuadro 10.5.2.2-4.

**CUADRO 7.5.2.2-4**
**ALTURAS ASOCIADAS A AL COEFICIENTE DE DESCARGA = 2,07 $m^{0,5}/s$**

| Altura | Valor (m) |
|---|---|
| Ho | 3,91 |
| Hd | 3,47 |
| ha | 0,44 |

Fuente: Elaboración propia

En el caso del vertedero frontal de de la alternativa ALT1 no existe efecto sobre la carga por parte de las aguas que escurren por el canal de descarga.

### *i) Resumen*

En el Cuadro 10.5.2.2-5 se resumen los principales parámetros obtenidos para la crecida de diseño y verificación.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 7.5.2.2-5**
**VALORES FINALES**

| | Q | He | Hd | P | R1 | R2 | Xc | Yc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m³/s | M | m | m | m | M | m | m |
| Lateral | 180 | 2,59 | 2,40 | 2 | 1,45 | 0,466 | 0,587 | 0,20 |
| Lateral | 320 | 3,91 | 3,47 | 2 | 1,45 | 0,466 | 0,587 | 0,20 |
| Frontal | 320 | 3,84 | 3,44 | 2 | 1,45 | 0,47 | 0,59 | 0,20 |

Fuente: Elaboración propia

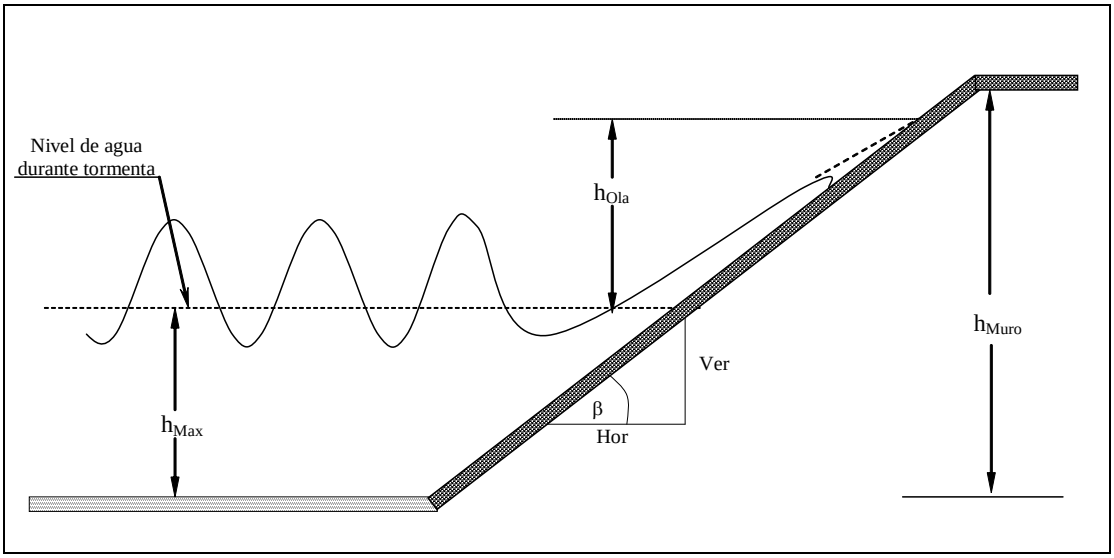
## 7.5.2.3. Revancha por Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta ($h_{ola}$), tal como se muestra en la Figura 10.5.2.3-1.
En la determinación de la revancha, se requiere conocer las siguientes variables:

- Dirección de diseño del viento
- Fetch efectivo
- Velocidad de diseño del viento sobre el agua
- Duración mínima del viento
-

**FIGURA 7.5.2.3-1**
**REVANCHA POR OLEAJE**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Elaboración propia

Las variables anteriormente indicadas se obtienen a partir de los registros meteorológicos, sin embargo, si no se disponen de ellos, como es el caso de este estudio, existen recomendaciones con los cuales se determinan resultados más conservadores:

- **Dirección del Viento:** La dirección del viento se puede suponer fijando el punto en la línea de la ribera opuesta según el mayor trecho del espejo de agua del embalse desde el sitio de la presa.
- **Fetch Efectivo:** Se traza la línea central (o línea de diseño) a partir del punto medio de la presa hasta el punto de la ribera opuesta que da la mayor longitud en el espejo del agua.

Luego se trazan 7 líneas radiales con ángulos de 6º entre sí a ambos lados de la línea central. En este caso en particular y con el fin de obtener valores más conservadores de la revancha por oleaje, las líneas se trazaron desde donde se abre la garganta y no desde el mismo muro. El esquema de estas líneas se presenta en la Figura 10.5.1.3-2. Cabe señalar que la superficie de inundación considerada para la estimación de la revancha por oleaje es para la máxima altura en cada una de las alternativas.
El fetch efectivo (F) se evalúa como:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{15} d_i \ Cos^2(\alpha_i)}{\sum_{i=1}^{15} Cos(\alpha_i)} \qquad (millas)$$

Donde:


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Di = Largo de línea "i", desde eje presa hasta ribera en millas

$\alpha_i$ = ángulo entre la línea "i" y la línea central o de diseño

F = Fetch Efectivo en millas.

En el Cuadro 10.5.3.3-1 se detallan los cálculos realizados para determinar el Fetch efectivo, considerando una situación de mayor superficie inundada, para la mayor capacidad de volumen para el sitio ALT1. El proceso es análogo para las otras alternativas de muro.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 7.5.2.3-1
## DETERMINACIÓN DEL FETCH O LONGITUD DE ACCIÓN DEL VIENTO SITIO ALT1

| Línea Nº | αº | Cos α | Cos2 α | Distancia (d) | | d Cos2 α |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | m | Millas | |
| 1 | 42 | 0,74 | 0,55 | **403,00** | **0,25** | 0,14 |
| 2 | 36 | 0,81 | 0,65 | 478,00 | 0,30 | 0,19 |
| 3 | 30 | 0,87 | 0,75 | 537,00 | 0,33 | 0,25 |
| 4 | 24 | 0,91 | 0,83 | 534,00 | 0,33 | 0,28 |
| 5 | 18 | 0,95 | 0,90 | 775,00 | 0,48 | 0,44 |
| 6 | 12 | 0,98 | 0,96 | 801,00 | 0,50 | 0,48 |
| 7 | 6 | 0,99 | 0,99 | 857,00 | 0,53 | 0,53 |
| 8 | 0 | 1,00 | 1,00 | 878,00 | 0,55 | 0,55 |
| 9 | 6 | 0,99 | 0,99 | 945,00 | 0,59 | 0,58 |
| 10 | 12 | 0,98 | 0,96 | 975,00 | 0,61 | 0,58 |
| 11 | 18 | 0,95 | 0,90 | 1026,00 | 0,64 | 0,58 |
| 12 | 24 | 0,91 | 0,83 | 1734,00 | 1,08 | 0,90 |
| 13 | 30 | 0,87 | 0,75 | 2237,00 | 1,39 | 1,04 |
| 14 | 36 | 0,81 | 0,65 | 1790,00 | 1,11 | 0,73 |
| 15 | 42 | 0,74 | 0,55 | 493,00 | 0,31 | 0,17 |
| | Suma | 13,51 | | | Suma | 7,42 |

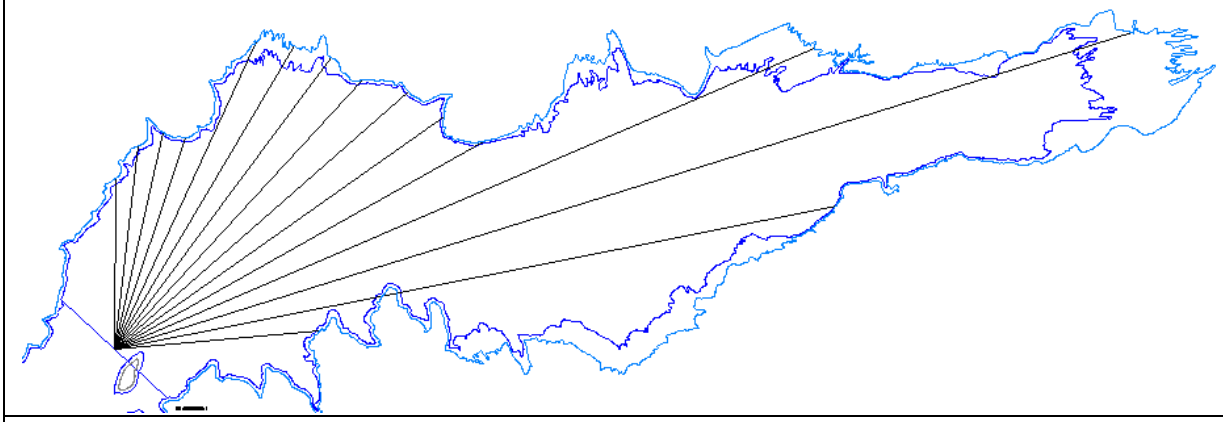
Fuente: Elaboración propia

Aplicando la ecuación del Fetch efectivo, se obtuvo 0,549 millas (883,8 m).

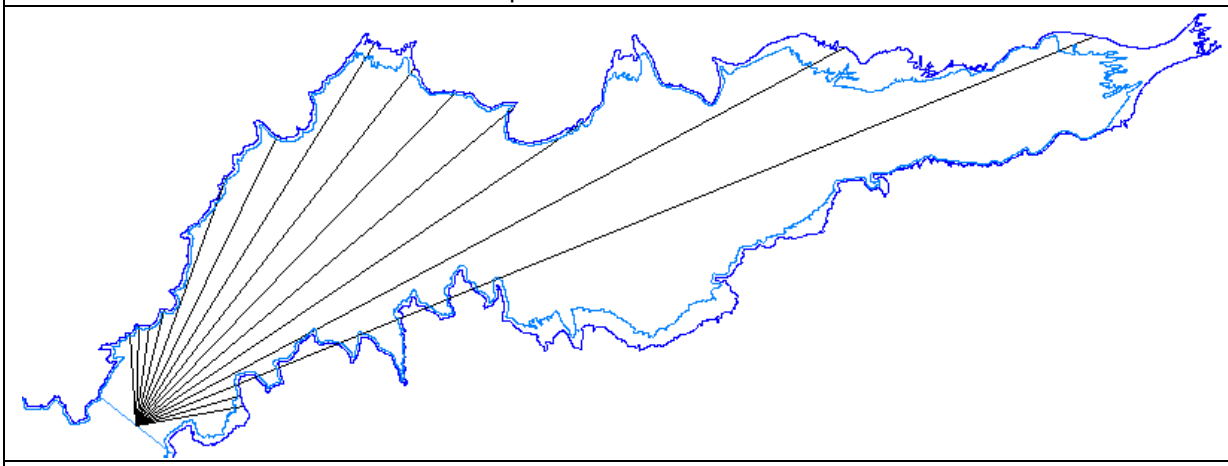

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## FIGURA 7.5.2.3-2
## ESQUEMA DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS PARA CÁLCULO DE FETCH EFECTIVO

Esquema Alternativa ALT1



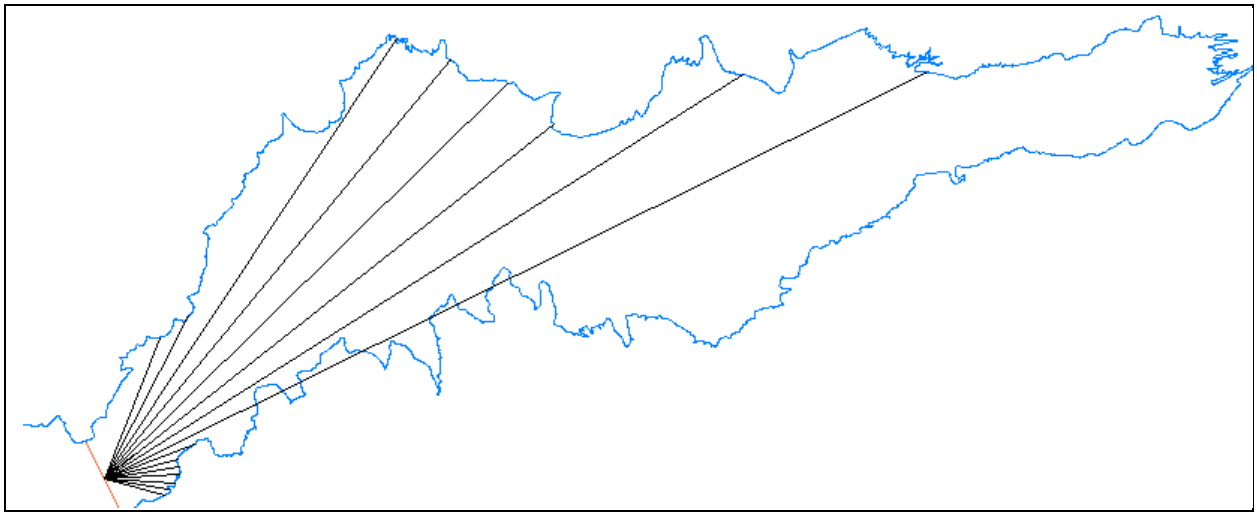
Esquema Alternativa ALT2



Esquema Alternativa ALT3


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.5.2.3-2**
**ESQUEMA DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS PARA CÁLCULO DE FETCH EFECTIVO**



Fuente: Elaboración propia

**Velocidad de Diseño:** Como el valor del Fetch efectivo es significativamente menor a 1 milla, se sugiere una velocidad de viento sobre la mayor longitud desde la presa a la ribera opuesta, velocidad que es igual a 18 mph. Este valor se obtiene del informe de viento generado en la página web del departamento de Geofísica de la facultad de Ciencias Físicas y matemáticas de la Universidad de Chile.

Se consideran las expresiones empíricas presentadas en el Cuadro 10.5.2.3-2 para determinar la altura debido al oleaje. El Fetch (F) se expresa en millas, la altura debido al oleaje ($h_{Ola}$) en pies y la velocidad del viento en mph.

**CUADRO 7.5.2.3-2**
**EXPRESIONES EMPÍRICAS CÁLCULO ALTURA OLA**

| Autor | Expresión |
|---|---|
| Stevenson | $h_{Ola}=2,5+1,5\times\sqrt{F}-\sqrt[4]{F}$ |
| Molitor | $h_{Ola}=2,5+0,17\ \sqrt{v\ F}-\sqrt[4]{F}$ |
| Creager | $h_{Ola}=\frac{F^{0,37}\ v^{0,48}}{3,41}$ |
| Bureau of Reclamation | $h_{Ola}=0,075\ (v-8,5)$ |


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: Elaboración propia

Aplicando las relaciones anteriores, se obtienen los resultados para la altura de ola presentados en el Cuadro 10.5.2.3-3

**CUADRO 7.5.2.3-3**
**ALTURA DE OLA**

| Autor | Altura (m) | | |
|---|---|---|---|
| | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| Stevenson | 0,84 | 0,86 | 0,83 |
| Molitor | 0,66 | 0,67 | 0,66 |
| Creager | 0,29 | 0,30 | 0,28 |
| Bur. of Rec. | 0,22 | 0,22 | 0,22 |

Fuente: Elaboración propia

Se adopta el valor de altura máxima de ola, que corresponde al valor determinado por el método de Stevenson, por lo tanto, la revancha por oleaje es de 0,86 m. Finalmente, al valor obtenido se le aplica un factor de seguridad del 50% a las revanchas de las presas de CFGD ya que no está permitido que el agua sobrepase el muro por lo tanto la revancha es de 1,3 m. En el caso de que la presa sea del tipo RCC no se incluye la revancha.

## 7.5.2.4. Revancha por Asentamiento del Muro

A partir de la experiencia de varias presas, se considera una altura de prevención de 1 en 100 (0,01) de la altura de agua a capacidad normal o un mínimo de 0,10 m (publicación "Rockfill Dams with Concrete Facing").
El valor adoptado es el máximo. Los valores de las revanchas por asentamientos son los presentados en el Cuadro 10.5.2.4-1.

**CUADRO 7.5.2.4-1**
**REVANCHAS POR ASENTAMIENTO**

| Volumen Umbral (hm³) | Volumen Útil (hm³) | Revancha por Asentamiento (m) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| 3,0 | 3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 |
| 6,0 | 6 | 0,5 | 0,5 | 0,6 |
| 9,0 | 9 | 0,5 | 0,6 | 0,6 |
| 12,0 | 12 | 0,5 | 0,6 | 0,6 |
| 15,0 | 15 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: Elaboración propia

## 7.5.2.5. Revancha Total

La revancha total para el caudal de diseño se resume a continuación en el Cuadro 10.5.2.5-1, además se indica el valor adoptado.

**CUADRO 7.5.2.5-1**
**RESUMEN DE REVANCHAS**

| Tipo Revancha | Revancha Total (m) | | |
|---|---|---|---|
| | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| Carga Q diseño (m) | 2,40 | 2,40 | 2,40 |
| Asentamiento (m) | 0,56 | 0,63 | 0,67 |
| Oleaje (m) | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| Seguridad (m) | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Total (m) | 5,26 | 5,32 | 5,36 |

Fuente: Elaboración propia

La revancha de seguridad es incluida con el fin de evitar problemas de derrames sobre la estructura que pudieran generar fallas en el muro de gravas. La revancha total obtenida en las tres alternativas de altura de muro, no es suficiente para descargar el agua de la crecida asociada al periodo de retorno de 10.000 años, por lo tanto se debe adoptar como revancha la estimada para la carga de la crecida de verificación que es igual a 5,5 m.

## 7.5.2.6. Cota de Coronamiento

Finalmente, las cotas de coronamiento son las indicadas en el Cuadro 10.5.2.6-1.

**CUADRO 7.5.2.6-1**
**VOLUMEN Y COTA DE CORONAMIENTO**

| Vol Umbral | Vol Útil ($hm^3$) | Cota Coronamiento (m.s.n.m.) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| 9,0 | 3 | 1.967,0 | 1.964,0 | 1.963,0 |
| 12,0 | 6 | 1.971,0 | 1.968,5 | 1.967,5 |
| 15,0 | 9 | 1.974,5 | 1.972,0 | 1.971,0 |
| 18,0 | 12 | 1.977,5 | 1.975,5 | 1.974,0 |
| 21,0 | 15 | 1.980,5 | 1.978,0 | 1.977,0 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

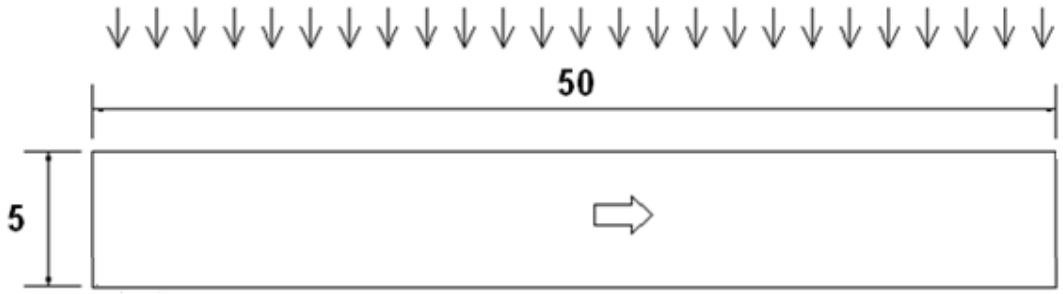
Fuente: Elaboración propia

### 7.5.3. Canal Colector y Grada

## 7.5.3.1. Canal Colector

El canal colector recibe las aguas descargadas por el vertedero lateral a lo largo de todo su desarrollo. Se propone un canal de sección trapezoidal de taludes 1,0: 3,0 (H:V) con una base variable entre los 5 y 10 m y una pendiente igual a cero.

**FIGURA 7.5.3.1-1**
**PLANTA CANAL COLECTOR**




Fuente: Elaboración propia

La altura y cota del canal colector se obtuvo bajo las siguientes condiciones:

- La altura de escurrimiento debe ser subcrítica según lo que se recomienda en el libro Diseño de Pequeñas Presas del USBR, para amortiguar los efectos del las aguas vertidas sobre la estructura.

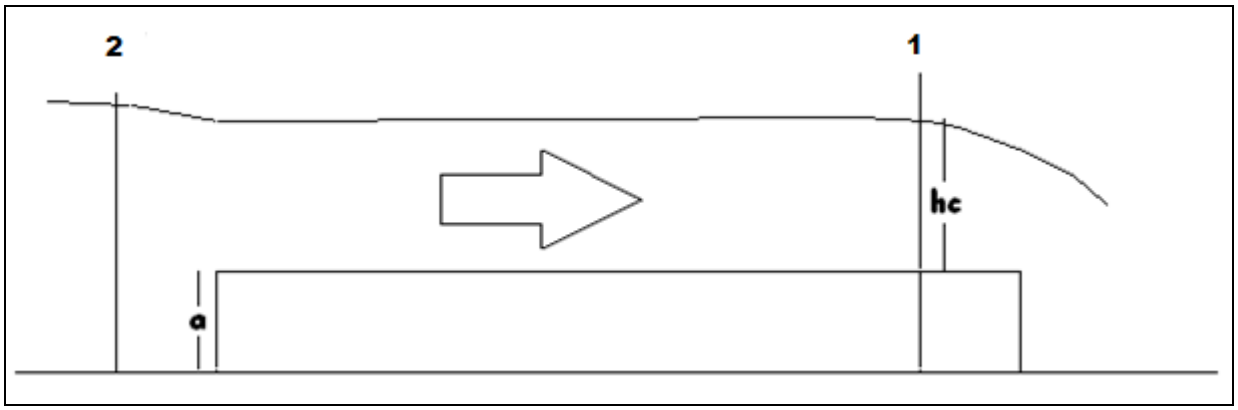
- La altura del agua en el canal colector no debe general la sumergencia del vertedero.

Para asegurar el régimen subcrítico se ha propuesto el diseño de una grada que garantice el régimen de río en el canal colector.

## 7.5.3.2. Determinación de la Grada

La sección de la grada es rectangular de un ancho b de 5 m. El largo es de 8 m para mejorar el paralelismo entre las líneas del flujo, ya que en la entrada de la grada la transición desde el canal colector puede generar turbulencias.

**FIGURA 7.5.3.2-1**
**PERFIL LONGITUDINAL**




Fuente: Elaboración propia

Para determinar la altura de la grada se procedió de la siguiente manera:

- Se utilizó el caudal de diseño de 180 $m^3/s$ correspondiente a la crecida de periodo de retorno igual a los 1.000 años.

- Se calcula la altura crítica hc sobre la grada y su energía $E_1$, utilizando las siguientes ecuaciones:

  - $hc = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$ **altura crítica en secciones rectangulares**

    Donde hc es la altura crítica de escurrimiento (m), q el caudal por unidad de ancho ($m^3/s/m$) y g la aceleración de gravedad ($m/s^2$).

  - $E = z + h + \frac{v^2}{2 \cdot g}$ **energía en canales abiertos**

    Donde z la cota (m) y v la velocidad de escurrimiento (m/s).


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Se asume una altura normal (hn) aguas arriba de la grada y se calcula su Energía $E_2$.

- Se estima la altura de la grada "a" como la diferencia entre las energías, y se adopta un valor para "a". "a" esta en metros.

  $a = E_2 - E_1$

- Se extrae el factor de resistencia de la pérdida según la tabla de la pág. 491 del libro de J. Domínguez a partir de la relación a/hc

**CUADRO 7.5.3.2-1**
**TABLA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE ENTRADA A GRADA**

| a/ho | ∆e |
|---|---|
| 3,5 | 0,330 |
| 3,0 | 0,328 |
| 2,5 | 0,315 |
| 2,0 | 0,282 |
| 1,5 | 0,240 |
| 1,0 | 0,188 |
| 0,5 | 0,110 |
| 0,3 | 0,056 |

Fuente: pág. 491 Libro de J. Domínguez

- Se obtiene la pérdida a partir de la siguiente ecuación

  $\Delta e = \lambda e \cdot \left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \frac{v_2^2}{2 \cdot g}\right)$

- se hace el balance de energía

  $E_1 = E_2 + a + \Delta e$

- Se itera el valor hn hasta que el balance de energía se cumpla.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Finalmente, se obtuvo una grada de una altura "a" de 1 m. Los resultados se encuentran en el Anexo 10-2, hoja "C.Col"**.** En el Cuadro 10.5.3.2-2 se resumen los resultados obtenidos.

**CUADRO 7.5.3.2-2**
**RESUMEN DE RESULTADOS**

| Parámetro | Valor |
|---|---|
| hc (m) | 5,09 |
| E1 (m) | 7,64 |
| hn (m) | 7,541 |
| E2 = | 8,7 |
| a diseño = | 1,0 |
| λe = | 0,044 |
| ∆e = | 0,061 |

Fuente: Elaboración propia

## 7.5.3.3. Determinación de la Altura de Escurrimiento sobre la Grada

Se calculó el eje hidráulico sobre la grada usando como condición de borde la altura crítica al final de la grada. Los cálculos se presentan en el Anexo 10-2, hoja "C.Col"**.**

## 7.5.3.4. Determinación de la Altura de Escurrimiento en el Canal Colector

Para la determinación del eje hidráulico en el canal colector se utilizó la metodología indicada en la sección 195 del texto Diseño de Presas Pequeñas del USBR.
Se entiende que en cualquier tramo corto de canal colector, la cantidad de movimiento al principio del tramo más cualquier aumento debido a las fuerzas externas, debe ser igual a la cantidad de movimiento al final del tramo.
La ecuación que define el eje se encuentra desarrollada en la sección 195 del USBR y es la siguiente:

$$\Delta y = \frac{Q_2}{g} \cdot \frac{(v_1+v_2)}{(Q_1+Q_2)} \cdot \left( (v_2 - v_1) + \frac{v_1 \cdot (Q_2 - 1)}{Q_2} \right)$$

Donde Δy el cambio de elevación (m), $Q_1$ ($m^3/s$) y $v_1$ (m/s) son los valores de al principio del tramo y $Q_2$ ($m^3/s$) y $v_2$ (m/s) son los valores al final del tramo.
Teniendo el valor inicial de la altura hn indicado en el Cuadro 10.5.2.2-2. Se discretizó el eje de acuerdo al caudal acumulado en el canal colector. El cálculo se realizó iterando el valor de h lo que generaba la variación del área mojada y la velocidad de escurrimiento y por ende un

valor de Δy nuevo, luego se verificaba si se cumplía que $h_1 = h_2 + \Delta y$. Se obtuvo una altura máxima al inicio del tramo de 14,69 m desde el fondo del canal para la crecida de 180 $m^3/s$. El cálculo de las alturas se presenta en el Anexo 10-2, hoja "C.Col"**.**

## 7.5.3.5. Influencia de Canal Colector sobre la Descarga del Vertedero

De acuerdo al punto (d) de la sección 190 del texto del USBR, para que no haya influencia sobre el vertedero, se debe satisfacer:

- hd/He >= 0,7
- (hd+d)/He >= 1,7

El valor de hd se obtienen de la ecuación siguiente, en donde He es la carga en operación sobre el vertedero (m), P es la altura del paramento (m), df la altura de escurrimiento aguas abajo del vertedero (m).

$$He + P = hd + df$$

He = Ho cuando el caudal es igual al de diseño. Los resultados se presentan en el Cuadro 10.5.3.5.-1

**CUADRO 7.5.3.5-1**
**RESULTADOS DE INFLUENCIA DEL CANAL COLECTOR SOBRE LA DESCARGA DEL VERTEDERO**

| Relación | Valor | Cumple? |
|---|---|---|
| hd+d = | 12,4 | |
| (hd+d)/He = | 4,79 | Si |
| hd/He = | 1,51 | Si |

Fuente: Elaboración propia

En caso de que no cumplieran con los valores deseados se debe corregir el coeficiente de descarga según figura 194 del USBR.

De acuerdo a los valores obtenidos para el caudal de diseño, la cota de fondo del canal colector para los diferentes volúmenes analizados se presentan en el Cuadro 10.5.3.5-2.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 7.5.3.5-2**
**COTA FONDO CANAL COLECTOR**

| Vol Útil (hm³) | Vol Umbral | Cota Fondo (m.s.n.m.) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| 3 | 9,0 | 1951,5 | 1948,5 | 1947,5 |
| 6 | 12,0 | 1955,5 | 1953,0 | 1952,0 |
| 9 | 15,0 | Frontal | 1956,5 | 1955,5 |
| 12 | 18,0 | Frontal | 1960,0 | 1958,5 |
| 15 | 21,0 | Frontal | 1962,5 | 1961,5 |

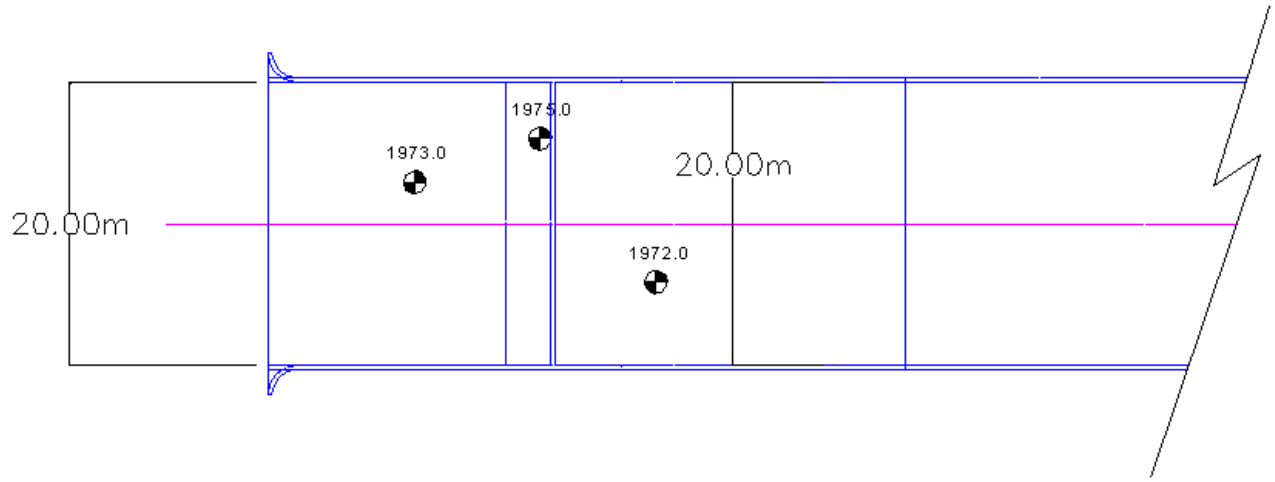
Nota: En el sitio alternativo ALT1 se diseñó un vertedero frontal con diferentes características, las cuales se indican en el acápite 10.5.3.6.

Fuente: Elaboración propia

## 7.5.3.6. Influencia de Canal de descarga sobre el vertedero Frontal ALT1

Para volúmenes de umbral mayores a los 15 $hm^3$ se proyectó, en el sitio ALT1, un vertedero frontal que vierte sus aguas directamente a un canal de descarga con la configuración que se indica en la Figura 10.5.3.6-1.

**FIGURA 7.5.3.6-1**
**PLANTA VERTEDERO FRONTAL Y CANAL DE DESCARGA ALT 1**
**VOLÚMENES SOBRE 15 hm³**



Fuente: Elaboración propia

El canal de descarga se proyectó con una pendiente de 0,02% lo que genera un escurrimiento subcrítico, por lo que se realizó el mismo análisis indicado en el acápite 10.5.3.4. En este caso es necesario que el canal de descarga se profundice 3 metros desde la cota umbral para que no exista influencia en el funcionamiento del vertedero. Las cotas de fondo se indican en el Cuadro 10.5.3.6-1.

**CUADRO 7.5.3.6-1**
**COTA FONDO CANAL COLECTOR**

| Volumen Útil (hm³) | Volumen Umbral (hm³) | Cota fondo ALT1 (m.s.n.m.) |
|---|---|---|
| 3 | 9,0 | Lateral |
| 6 | 12,0 | Lateral |
| 9 | 15,0 | 1966,0 |
| 12 | 18,0 | 1969,0 |
| 15 | 21,0 | 1972,0 |

Fuente: Elaboración propia

## 7.5.3.7. Verificación Periodo de Retorno de 10.000 Años

. Determinada la geometría del canal colector y la grada, se realizaron los cálculos para obtener las alturas de de escurrimiento asociadas a la crecida de 10.000 años de 320 $m^3/s$. Se procedió de la siguiente manera:

- Se calcula la altura crítica hc sobre la grada y su energía $E_1$.
- Se asume una altura normal (hn) aguas arriba de la grada y se calcula su Energía $E_2$.
- Se extrae el factor de resistencia de la pérdida según la tabla de la pág. 491 del libro de J. Domínguez a partir de la relación a/hc.
- se hace el balance de energía.
- Se itera el valor hn hasta que el balance de energía se cumpla.

Los resultados se encuentran en el Anexo 10-2, hoja "C.Col"**.** En el Cuadro 10.5.3.7-1 se resumen los resultados obtenidos.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 7.5.3.7-1
## RESUMEN DE RESULTADOS

| Parámetro | Valor | Parámetro | Valor |
|---|---|---|---|
| hc (m) | 7,48 | E2 = | 12,29 |
| E1 (m) | 11,22 | λe = | 0,044 |
| hn (m) | 10,34 | ∆e = | 0,079 |

Fuente: Elaboración propia

- Se determinó la altura de escurrimiento en el fin del canal colector y se utilizaron las ecuaciones indicadas en el acápite 10.5.3.4 para determinar la altura de escurrimiento hacia aguas arriba.

- Se verificó que si existe influencia sobre la descarga del vertedero, por lo tanto se corrigió el valor del coeficiente de descarga y la altura de escurrimiento sobre el vertedero de descarga.

Los cálculos se encuentran en el Anexo 10-2, hoja "C.Col"**.** En el Cuadro 10.5.3.7-2 se resumen las cotas más relevantes.

## CUADRO 7.5.3.7-2
## RESUMEN DE RESULTADOS CRECIDA DE VERIFICACIÓN

| Volumen Útil ($hm^3$) | Volumen Umbral ($hm^3$) | Cota Aguas Máximas Vertedero | | | Cota Aguas Máximas Canal Colector | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| 3 | 9,0 | 1964,97 | 1961,97 | 1960,97 | 1962,72 | 1959,72 | 1958,72 |
| 6 | 12,0 | 1968,97 | 1966,47 | 1965,47 | 1966,72 | 1964,22 | 1963,22 |
| 9 | 15,0 | 1972,42 | 1969,97 | 1968,97 | 1969,48 | 1967,72 | 1966,72 |
| 12 | 18,0 | 1975,42 | 1973,47 | 1971,97 | 1972,48 | 1971,22 | 1969,72 |
| 15 | 21,0 | 1978,42 | 1975,97 | 1974,97 | 1975,48 | 1973,72 | 1972,72 |

(*) Cotas de aguas máximas en canal de descarga.

Fuente: Elaboración propia


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 7.5.4. Canal de Descarga

En los casos que el este canal es la continuación del canal colector, posee una sección trapezoidal de base igual a 5 m y taludes 1:3 (H:V). Por otra parte se tiene la geometría indicada en el acápite 10.5.3.6 en la ALT1 donde los taludes son verticales.

Para determinar la altura del canal de Descarga se realizó el cálculo del eje hidráulico para el caudal de diseño y el caudal de Verificación. El eje se inicio desde la condición de borde aguas abajo, la cual corresponde a la crisis hidráulica que se genera por el inicio del rápido de descarga.

La altura crítica es de 4,57 m para el caudal de diseño y de 6,44 m para el caudal de verificación. En el Cuadro 7.5.4-1 se incluyen las máximas alturas de escurrimiento para ambos caudales.

Los cálculos de los ejes se encuentran en el Anexo 10-2, hoja "Canaldescarga"**.**

**CUADRO 7.5.4-1**
**DIMENSIONES CANAL DE DESCARGA**

| Volumen Útil (hm³) | Volumen Umbral (hm³) | Longitud Canal de Descarga | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| 3 | 9,0 | 100 | 145 | 125 |
| 6 | 12,0 | 95 | 145 | 115 |
| 9 | 15,0 | 30 | 175 | 100 |
| 12 | 18,0 | 25 | 205 | 95 |
| 15 | 21,0 | 25 | 215 | 95 |
| Pendiente | | 0,002 | | |
| Base "b" (m) | | 5.0 | | |
| Talud | | 1:3 (H:V) | | |
| Longitud máx. (máx. altura escurrimiento) (m) | | 100 | 215 | 125 |
| Altura máx de escurrimiento (m) Qverificación | | 5,4 | 5,6 | 5,5 |
| Altura máx de escurrimiento (m) Qdiseño | | 7,6 | 8,0 | 7,7 |

Fuente: Elaboración propia

### 7.5.5. Rápido de Descarga

## 7.5.5.1. Pendiente del Rápido de Descarga

La pendiente del rápido de descarga la define la topografía existente por donde se han trazado los rápidos. Se analizaron los casos extremos de cada alternativa de muro, es decir, los rápidos con mayor desnivel.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Matemáticamente, la pendiente del rápido de descarga es la siguiente:

Para ALT1 Volumen útil 15 $hm^3$: $Y = 64{,}3 - 0{,}29 \cdot X$

Para ALT2 Volumen útil 15 $hm^3$: $Y = 66{,}0 - 0{,}51 \cdot X$

Para ALT3 Volumen útil 15 $hm^3$: $Y = 69{,}8 - 0{,}44 \cdot X$

## 7.5.5.2. Criterios de Diseño

El eje hidráulico se debe realizar considerando dos rugosidades distintas, 0,011 para determinar la energía máxima con la que llega el flujo y 0,018 para definir la altura máxima de éste. Los cálculos para cada una de las capacidades analizadas se encuentran en el Anexo 10-2, hoja "RD ALT1Max", "RD ALT1Min", "RD ALT2Max" y "RD ALT3Max".
El diseño se hizo para el caudal de 180 $m^3/s$ y se verificó para la crecida milenaria.

## 7.5.5.3. Eje Hidráulico

Para determinar el eje hidráulico se necesita conocer las alturas de escurrimientos a lo largo de todo el talud de aguas abajo del vertedero. Dado que se conoce la geometría del talud de aguas abajo del vertedero se discretizan los valores de X, Y, alfa y d para un ΔX dado. Donde X e Y son las coordenadas (m), alfa el ángulo entre la horizontal y el perfil de aguas abajo del vertedero (rad), y d la distancia entre par de coordenadas continuas (m).
Para cada par de coordenadas continuas se debe realizar un balance de la energía del flujo, lo que permite definir las alturas de escurrimiento buscadas.
Para ello, se sabe que la energía en un punto (1) es igual a la energía en un punto (2) más las pérdidas friccionales y singulares, cuando (1) es un punto ubicado aguas arriba de (2). La ecuación es la siguiente:

$E_1 = E_2 + \Delta f + \Delta S$

Donde:

$E_1$ = energía en el punto (1) en (m)

$E_2$ = energía en (2) en (m)

Δf = pérdidas fricciónales (m)

Δs = pérdidas singulares (m)

Por otra parte E en canales abiertos se define como:

$E = z + h \cdot \cos(\alpha) + \frac{v^2}{2 \cdot g}$

Donde:

z = cota (m)


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

v = velocidad de escurrimiento (m/s).

Para obtener la velocidad se tiene que el caudal es $v = \frac{Q}{A}$, donde A es el área mojada ($m^2$) y Q el caudal ($m^3/s$).

Las pérdidas fricciónales se pueden definir como:

$$\Delta f = d \cdot Jm$$

$$Jm = \sqrt{J_1 \cdot J_2}$$

$$J_i = \left( \frac{Q \cdot n}{A_i \cdot R_{h_i}^{2/3}} \right)^2$$

Donde:

D = distancia entre (1) y (2)

Ji = pendiente de la carga de energía en i

n = rugosidad del canal ($m^{0,5}/s$)

Ai = área mojada en i ($m^2$)

Rhi = radio hidráulico en i (m) que se define como Ai/Pi donde Pi es el perímetro mojado en i (m).

Las rugosidades utilizadas fueron 0,011 y 0,018.

Las pérdidas singulares en este tramo para efectos de la determinación del eje hidráulico en este caso son despreciables.

Para comenzar el eje se necesita una condición de borde que permita conocer la energía en al menos un punto. En este caso la condición de borde está dada por la altura crítica en el inicio del rápido, generada por el abrupto aumento de pendiente.

La altura crítica en secciones rectangulares se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$hc = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

Donde:

hc = altura crítica de escurrimiento (m)

q = caudal por unidad de ancho ($m^3/s/m$)

g = aceleración de gravedad ($m/s^2$)

Conocida la altura se conoce la energía de la crisis, luego utilizando las ecuaciones anteriormente mencionadas se comienza a obtener las alturas de escurrimiento para cada uno de los puntos discretizados.

En el Cuadro 10.5.5.3-1 se presentan las dimensiones y parámetros más relevantes, tales como la condición de borde aguas arriba (altura crítica). Los cálculos se encuentran en el Anexo 10-2, hoja "RD ALT1Max", "RD ALT1Min", "RD ALT2Max" y "RD ALT3Max".

**CUADRO 7.5.5.3-1**
**PARÁMETROS Y DIMENSIONES RELEVANTES**

| Parámetros para Volumen Umbral de 15 (hm³) | Alternativas de sitio de Muro | | |
|---|---|---|---|
| | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| Largo (m) | 220 | 130 | 160 |
| Altura (m) | 64 | 66 | 70 |
| Pendiente (m/m) | 0,29 | 0,51 | 0,44 |
| Base (m) | 20 | 10 | 10 |
| Velocidad máx. (m/s), Qd, n=0,011 | 23,8 | 31,12 | 30,95 |
| N° Froude al pie del rápido, Qd, n =0,011 | 12,35 | 13,07 | 12,97 |
| Altura de escurrimiento máx. (m) = altura crítica | 2,02 | 3,21 | 3,21 |
| Altura de escurrimiento mín. (m), n =0,018 | 0,63 | 0,58 | 0,58 |

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en el Cuadro 7.5.5.3-2, que los rápidos presentan pendientes muy fuertes siendo la de mayor inclinación igual a 0,51. (m/m). Además, por la extensión de sus trazados se generan velocidades entre los 23 y 31 m/s, lo que podría generar problemas en el radier de la obra.

## 7.5.5.4. Aireación del Flujo

En el apunte Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras, Mery (Ver Volumen 2, Página 130) se presenta la siguiente ecuación para la determinación de las velocidades máximas que resiste el hormigón cuando es sometido al fenómeno de cavitación.

$$v_{max} = v_0 + 0{,}43 \cdot \sigma_{horm}$$

Donde $\sigma_{horm}$ es la capacidad del hormigón (resistencia a la compresión) en MPa, y vo, ha sido definido por dos autores, con distintos valores:

- Galperin vo =1,5 m/s
- Kudriashov vo = 3 m/s

La ecuación debe considerarse como una primera aproximación y un valor de referencia solamente ya que la velocidad máxima depende del grado de aireación y de la terminación superficial del hormigón, de modo que una mayor aireación y un mejor acabado de la superficie, admite una mayor velocidad del escurrimiento sin producir daños por cavitación.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

A partir de la ecuación se obtuvo las velocidades máximas para distintas capacidades del hormigón, las cuales se presentan en el Cuadro 7.5.5.4-2.

**CUADRO 7.5.5.4-1**

**VEL. MÁX. DE ESCURRIMIENTO DE ACUERDO A LA CAPACIDAD DEL HORMIGÓN**

| Capacidad (MPa) | vmax Galperin (m/s) | vmax Kudriashov (m/s) |
|---|---|---|
| 20 | 10,1 | 11,6 |
| 30 | 14,4 | 15,9 |
| 40 | 18,7 | 20,2 |
| 50 | 23 | 24,5 |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cuadro anterior, las velocidades alcanzadas para los tres tamaños de muro (28,6 m/s, 31,1 m/s y 30,9 m/s), con un n de 0,011, para la condición del caudal de diseño está por sobre de la velocidad máxima de Kudriahov y de Galperin (24,5 y 23 m/s) cuando la capacidad del hormigón es de 50 MPa, condición que se mantiene con el caudal de verificación. Bajo esta condición se recomendaría la inclusión de obras de aireación que eviten daños de la estructura.

Por otro lado, se ha realizado el cálculo de la incorporación de aire al flujo. El porcentaje medio de aire expresado en volumen de aire con respecto a la unidad de volumen de agua, "Ca" (concentración de aire), según Douma puede estimarse con la siguiente relación:

$$C_a = 10 \cdot \sqrt{0{,}2 \cdot \frac{v^2}{g \cdot R_h} - 1}$$

El aire incorporado produce un esponjamiento del líquido con un aumento de la altura del escurrimiento. La nueva altura sería:

$$h' = h \cdot \sqrt{1 + 0{,}01 \cdot C_a}$$

A partir de esto se obtiene los valores presentados en el Cuadro 7.5.5.4-2 para el caudal de verificación.

De acuerdo a los autores citados en la Pág. 132 Tomo 2 del apunte de Mery, con 8% de concentración de aire la cavitación es casi nula. Por lo tanto, si el rápido de descarga tiene una buena aireación no deberían existir problemas de cavitación. En el Cuadro 10.5.5.4-3 se presentan los resultados obtenidos.

**CUADRO 7.5.5.4-3**

**EFECTO AIRE INCORPORADO EN EL FLUJO**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| Parámetro | Alternativas de sitio de Muro | | |
|---|---|---|---|
| | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| h' (vmax) (m) | 0,47 | 0,73 | 0,74 |
| v'max (m/s) | 23,8 | 31,0 | 30,83 |
| Ca (%) | 56,0 | 61,2 | 60,74 |

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se calculó el Índice de Cavitación "σ" que permite indicar si es necesaria la inclusión de aireadores en la obra. De acuerdo al capítulo 26 de texto "Cavitation in Spillways and Energy Dissipators, R. M. Khatsuria", para que se generen daños por el efecto de la cavitación en un rápido de descarga el valor del Índice de Cavitación "σ" en la siguiente ecuación debe ser menor a 0,2. (Falvey 1982).

$$\sigma = \frac{y \cdot cos(\theta) \mp \frac{y \cdot v^2}{g \cdot Rc} + P_{b-}P_v}{\frac{v^2}{2 \cdot g}}$$

Donde:

y = altura de escurrimiento (m)

θ = ángulo con respecto a la horizontal (º)

v = velocidad de escurrimiento (m/s)

g = aceleración de gravedad ($m/s^2$)

Rc = radio de curvatura si es que hay (m)

Pb = presión barométrica del agua (m) usualmente 10,3 m

Pv = presión del vapor de agua (m) usualmente 0,233 m.

El valor de σ obtenido al pie del rápido considerando el mayor volumen en las tres alternativas, se presenta en el Cuadro 10.5.5.4-4. Como se puede apreciar en dicho Cuadro, se cumple con la condición (σ > 0,2) en todos los casos, por lo tanto no sería necesaria la incorporación de aireadores.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 7.5.5.4-4**
**VALOR DE ÍNDICE DE CAVITACIÓN**

| Parámetro | ALT1 V15 | ALT1 V3 | ALT2 V15 | ALT3 V15 |
|---|---|---|---|---|
| Rc | 1,00E+101 | 1,00E+101 | 1,00E+101 | 1,00E+101 |
| Pb | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 10,3 |
| Pv | 0,233 | 0,233 | 0,233 | 0,233 |
| v (m/s) | 23,79 | 25,55 | 31,12 | 30,95 |
| y (m) | 0,38 | 0,70 | 0,58 | 0,58 |
| θ (º) | 16,29 | 13,92 | 26,91 | 23,58 |
| y*v2/g/Rc | 2,18E-100 | 4,69E-100 | 5,72E-100 | 5,69E-100 |
| σ | 0,361 | 0,323 | 0,214 | 0,217 |
| Cumple? | SI | SI | SI | SI |

Fuente: Elaboración propia

## 7.5.5.5. Determinación de la Altura de los Muros del Rápido de Descarga

Finalmente la altura de los muros está condicionada por la crecida de periodo de retorno de 10.000 años.
La altura máxima obtenida del esponjamiento del flujo al pie del rápido es de 1,3 m. Considerando una revancha de 0,5 m, se adopta una altura del muro de 2,0 m en su punto más bajo, el cual debe aumentar linealmente hasta alcanzar los 5,5 metros en su punto más alto.

## 7.5.6. Disipador de Energía

## 7.5.6.1. Criterios de Diseño

El disipador de energía se ubica al pie del rápido de descarga, se han propuesto tanques disipadores por el USBR para rangos de valores del Número de Froude y la velocidad con la que llega el torrente.
Para éstas obras se considera la máxima energía con la que podría llegar el flujo para el caudal de diseño, por lo tanto, se asume una rugosidad mínima del hormigón (n=0,011), lo que disminuye las pérdidas.
El USBR propone distintos tipos de estanques disipadores de acuerdo al Fr y a la velocidad del flujo. En este caso los parámetros del Fr y la velocidad se indican en Cuadro 10.5.6.1-1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 7.5.6.1-1**
**RESUMEN PARÁMETROS RELEVANTES DISIPADORES DE ENERGÍA**

| Parámetros | Alternativas de sitio de Muro | | |
|---|---|---|---|
| | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| n | 0,011 | 0,011 | 0,011 |
| N° Froude | 12,35 | 13,07 | 12,97 |
| v (m/s) | 23,8 | 31,1 | 31,0 |
| h (m) | 0,38 | 0,58 | 0,58 |

Fuente: Elaboración propia

## 7.5.6.2. Determinación del Tipo de Estanque

En este caso el estanque tipo III, recomendado por el USBR, cumple con las velocidades mínimas y el Nº de Froude requerido. Estas restricciones son:

- v max (m/s) > 18 m
- Nº de Froude > 4,5
- La altura del régimen tranquilo a la salida del estanque, debe ser al menos 1,05 veces la altura de conjugada a la salida del resalto generado en el estanque. Las alturas conjugadas se calcula con la siguiente ecuación,

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \cdot \left( \sqrt{1 + 8 \cdot {Fr_1}^2} - 1 \right)$$

Donde:

$y_2$ = altura conjugada aguas abajo del resalto

$y_1$ = altura de escurrimiento aguas arriba estanque

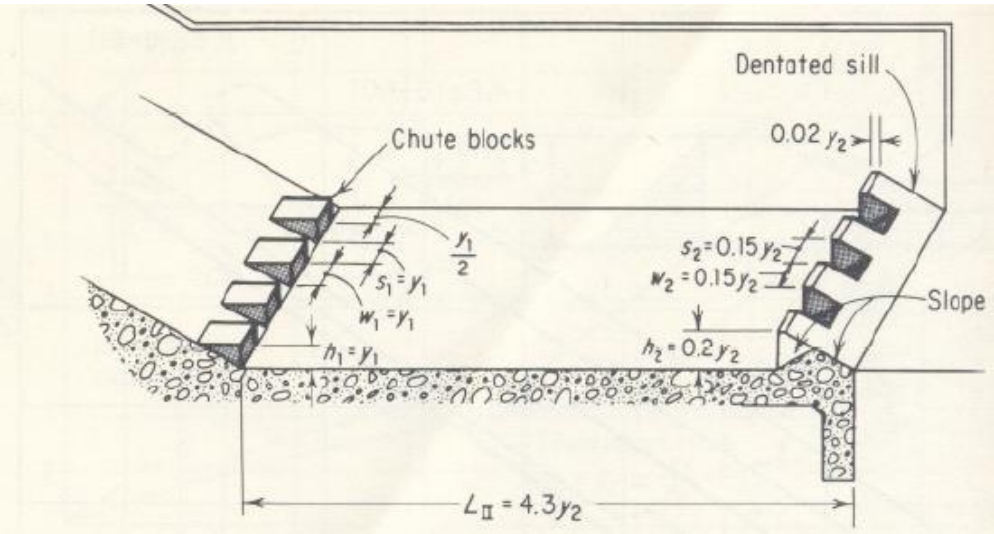
$Fr_1$ = N° de Froude aguas arriba del estanque

## 7.5.6.3. Determinación de las Dimensiones del Estanque Tipo III

La configuración del estanque tipo III del USBR se presentan en la Figura 10.5.6.3-1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.5.6.3-1**
**ESTANQUE TIPO III. USBR**




Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones de los estanques para las distintas capacidades analizadas se presentan en el Cuadro 10.5.6.3-1. Los cálculos se presentan en el Anexo 10-2, hoja "DE ALT1Max", "DE ALT2Max", y "DE ALT3Max".

La altura de escurrimiento aguas abajo del estanque ($h_3$) se obtuvo a partir de la ecuación de Manning. Se supuso escurrimiento normal con un ancho igual al de la obra de disipación.

Los estanques se proyectan con unas gradas de 5 (ALT1) y 9 m (ALT2 y ALT3) para cumplir con la condición de que la altura de escurrimiento aguas abajo del estanque sea al menos 1,05 veces la altura conjugada $y_2$.

Se calculó también $h_{resguardo}$ (3, 4 y 4 m) que se refiere a la diferencia entre la cota del lecho y la altura de escurrimiento aguas abajo del disipador.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 7.5.6.3-1**
**DIMENSIONES DEL ESTANQUE TIPO III**

| Parámetros inicio de Tanque | Alternativa de sitio de Muro | | |
|---|---|---|---|
| | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| y1=h1 (y1 altura conjugada) (m) | 0,38 | 0,58 | 0,58 |
| **h1 adoptado (m)** | **0,5** | **1,0** | **1,0** |
| **w1 adoptado (ancho diente) (m)** | **0,5** | **1,0** | **1,0** |
| **Nº w1 (uni)** | **20,0** | **5,0** | **5,0** |
| **b (ancho Tanque) (m)** | **20,0** | **10,0** | **10,0** |
| **s1 adoptado (ancho entre dientes) (m)** | **0,5** | **1,0** | **1,0** |
| s1' (ancho entre diente y muro) (m) | 0,25 | 0,50 | 0,50 |
| **N dientes (chute blocks) (un)** | **20,0** | **5,0** | **5,0** |
| y2 (m) altura conjugada | 6,4 | 10,41 | 10,38 |
| 1,05*y2 | 6,7 | 10,93 | 10,90 |
| h3 (m) altura normal aguas abajo | 1,8 | 2,75 | 2,35 |
| **grada (altura extra en disipador para empalmar la altura y3 con h)** | **5,0** | **9,0** | **9,0** |
| h3 + grada | 6,8 | 11,75 | 11,35 |
| h2 (altura diente fin de Tanque) (m) | 1,3 | 2,08 | 2,08 |
| LIII (largo Tanque) (m) | 27,6 | 44,75 | 44,62 |
| **LIII adoptado (m)** | **28,0** | **45,0** | **45,0** |
| w2 (ancho de dientes) (m) | 0,96 | 1,56 | 1,56 |
| **w2 adoptado (m)** | **1,0** | **1,50** | **1,50** |
| **Nº w2 (uni)** | **10,0** | **4,0** | **4,0** |
| s2 (espacio entre dientes) (m) | 0,96 | 1,56 | 1,56 |
| **s2 adoptado (m)** | **1,0** | **1,50** | **1,50** |
| **Nº w2 (uni)** | **9,0** | **3,0** | **3,0** |
| u = 0,02*y2 (ancho superior del diente) (m) | 0,13 | 0,21 | 0,21 |
| **u adoptado (m)** | **0,20** | **0,30** | **0,30** |

Fuente: Elaboración propia

## 7.5.6.4. Verificación para Crecida de los 10.000 Años

Bajo las condiciones de un caudal de 320 $m^3/s$ el flujo cumple con:


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- v max (m/s) > 18 m/s. Ok para los tres casos (el Anexo 10-2, hoja "DE ALT1Max", "DE ALT2Max", y "DE ALT3Max"**.**

- Nº de Froude > 4,5. Ok para los tres casos (el Anexo 10-2, hoja "DE ALT1Max", "DE ALT2Max", y "DE ALT3Max"**.**

- H escurrimiento a la salida > 1,05$y_2$. No se cumple, por lo tanto el disipador no funcionaría al 100% en para el caso de una crecida diez milenaria.

### 7.5.7. Diseño Hidráulico de Obras Anexas

## 7.5.7.1. Obras de Captación y Entrega

a) Descripción

Para la construcción del embalse, se proyecta una obra de captación de circulación forzada, con presencia de válvulas reguladoras. A continuación se describen las bases de diseño de esta obra, las dimensiones y cotas adoptadas a través del cálculo hidráulico respectivo, que se incluye en el Anexo 10-2, hoja "Captación y Entrega".

b) Criterios de Diseño

Los criterios de diseño son los que se consignan a continuación, y en la Figura 10.5.7.1-1, se indica la configuración del sistema de captación y entrega:

- Los caudales de diseño para los escenarios de calidad, actual y mejorada, se presentan en el Cuadro 10.5.7.1-1 para todas los volúmenes analizados. Estos fueron definidos por el modelo de simulación de embalse proyectado.

**CUADRO 7.5.7.1-1**
**CAUDAL DE DISEÑO OBRA DE ENTREGA**

| Volumen Útil (hm³) | Volumen Umbral (hm³) | Superficie (ha) | | Caudal de Diseño (L/s) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Calidad Actual | Calidad Mejorada | Calidad Actual | Calidad Mejorada |
| 3 | 9,0 | 63,5 | 88,7 | 275 | 235 |
| 6 | 12,0 | 106,8 | 137,4 | 388 | 322 |
| 9 | 15,0 | 128,8 | 166,9 | 444 | 373 |
| 12 | 18,0 | 140,1 | 178,4 | 473 | 393 |
| 15 | 21,0 | 150,4 | 191,2 | 499 | 415 |

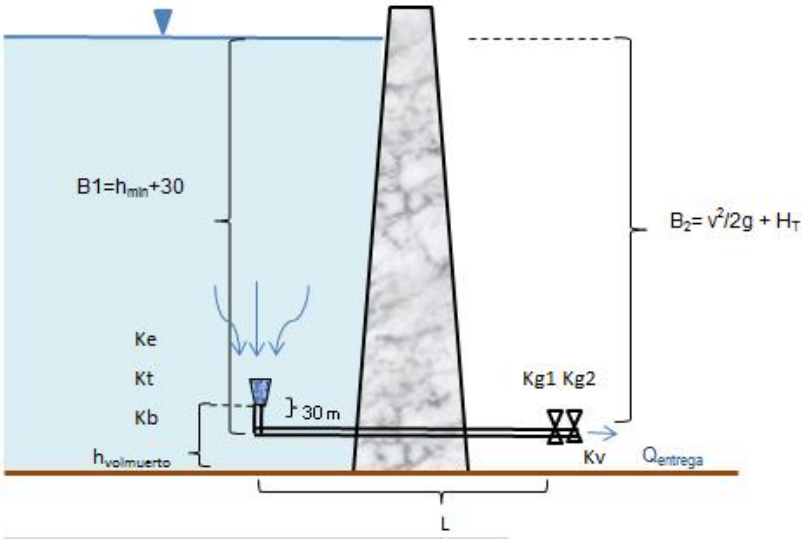
Fuente: Elaboración propia

- Se considera una tubería de acero cuyo coeficiente de rugosidad (Manning) asociado es n = 0,011.

- Se consideró un sistema con dos válvulas, una mariposa y otra de Howell-Bunger.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.5.7.1-1**
**ESQUEMA OBRA DE TOMA Y ENTREGA**




Fuente: Elaboración propia

- La altura de sumergencia mínima necesaria para que la tubería no tenga problemas de cavitación, de acuerdo al apunte de Mery, es la siguiente:

$$\frac{S}{D} = 2 \cdot Fr + \frac{1}{2} \; si \; Fr \geq 0{,}5$$

Donde

S = altura de sumergencia mínima (m)

D = diámetro de la tubería (m)

Fr = Número de Froude

- La conducción de la captación y entrega se utilizará como desagüe en caso de que se desee disminuir el volumen embalsado.

c) Diámetro Mínimo

Para determinar el diámetro mínimo se realizó un balance de energía según la siguiente ecuación:


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$B_1 = B_2 + Ht$$

Donde:

$B_1$ = Bernoulli en la cresta del vertedero de copa (m)

$B_2$ = Bernoulli al final del túnel de descarga (m)

Ht = pérdidas en el sistema

La ecuación del Bernoulli está definida como:

$$B_i = z_i + h + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{{v_i}^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

zi = cota del punto i (m)

h = altura de agua (m)

Pi = presión en el punto i

δ = peso específico del agua

vi = velocidad en el punto i (m/s)

g = aceleración de gravedad (m/s$^2$).

Para determinar Ht se utilizó la ecuación de Darcy - Weisbach de la siguiente manera:

$$H_t = \left(K_t + K_e + K_b + 2 \cdot K_g + K_v + \frac{f \cdot L}{D}\right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

Kt = coeficiente de pérdida de la rejilla para basuras

Ke = coeficiente de pérdida a la entrada

Kb = coeficiente de pérdida por cambio de dirección

f = coeficiente de rozamiento en la ecuación de Darcy-Weisbach para tuberías de escurrimiento a presión

Kg = coeficiente de pérdida en la compuerta

Kv = coeficiente de velocidad de carga de salida

D = diámetro tubería (m)

L = largo de la conducción (m)

g = aceleración de gravedad (m/s$^2$)

El coeficiente de rozamiento en la ecuación de Darcy-Weisbach para tuberías de escurrimiento a presión f está dado por:

$$f = \frac{116{,}5 \cdot n^2}{{R_h}^{1/3}}$$

Donde:

n = coeficiente de rugosidad (n=0,011)

Rh = radio hidráulico (m).

Como los tipos de válvulas son distintos la ecuación de Darcy – Weisbach para el cálculo de $H_t$ se modifica a:

$$H_t = \left(K_t + K_e + K_b + (K_{g1} + K_{g2}) + K_v + \frac{f \cdot L}{D}\right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

$K_{g1}$ = factor de pérdida de la válvula mariposa excéntrica

$K_{g2}$ = factor de pérdida de la válvula de Howell-Bunger definida como:

$$K_{g2} = \left(\frac{1}{{C_Q}^2} - 1\right)$$

Donde $C_Q$ es el coeficiente de gasto de la válvula Howell-Bunger.
La apertura máxima de la válvula con respecto al diámetro de la tubería es de a/D=0,5, para evitar vibraciones con riesgo de erosión y deterioro en el sello.
La cota cero del sistema es la cota de salida de la tubería de descarga, por lo tanto $B_2$ corresponde a la altura de velocidad en dicho punto, por otro lado, $B_1$ es la suma de la carga h más el delta cota z. Los cálculos se presentan en el Anexo 10-2, Hoja "Captación y Entrega". Los valores de los coeficientes de pérdidas se presentan en el Cuadro 10.5.7.1-2 y en el Cuadro 10.5.7.1-3 se resumen los diámetros de diseño de la tubería de entrega. Estos diámetros permiten entregar el caudal máximo para una cota de agua mínima.

**CUADRO 7.5.7.1-2**
**COEFICIENTES DE PÉRDIDA**

| Coeficiente | Valor |
|---|---|
| $K_t$ | 0,015 |
| $K_e$ | 0,535 |
| $K_b$ | 1,1 |
| $K_{g1}$ | 1,5 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 7.5.7.1-2**
**COEFICIENTES DE PÉRDIDA**

| | |
|---|---|
| $K_V$ | 1,0 |
| $C_Q$ | 0,8 |

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 7.5.7.1-3**
**DIÁMETRO MÍNIMO DE LA TUBERÍA PROYECTADA**

| Volumen Umbral (hm³) | Diámetro tubería (mm), Calidad Mejorada | | | Diámetro tubería (mm), Calidad Actual | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| 9,0 | 318 | 318 | 318 | 318 | 318 | 318 |
| 12,0 | 356 | 356 | 356 | 318 | 324 | 324 |
| 15,0 | 368 | 368 | 368 | 356 | 356 | 356 |
| 18,0 | 368 | 406 | 406 | 356 | 356 | 356 |
| 21,0 | 406 | 406 | 406 | 356 | 368 | 368 |

Fuente: Elaboración propia

## 7.5.7.2. Túnel de Desvío

Para desviar las aguas durante la construcción de las obras se proyectaron en forma preliminar obras para cada una de las alternativas de ubicación del embalse. Estas obras se dimensionaron de acuerdo a lo indicado por el Reglamento de Obras Mayores de la DGA el cual señala que el período de retorno asociado a la crecida de diseño para la desviación del escurrimiento durante el período de construcción deberá determinarse de modo tal que el riesgo hidrológico no sea mayor al 10%.
La ecuación del riesgo hidrológico está dada por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Donde R es el riesgo hidrológico (º/1), T el periodo de retorno (año) y n el número estimado de años que demora la construcción de las obras.
Al evaluar la ecuación para un R =10% y un tiempo de construcción estimado "n" igual a dos años, el valor de T es 19,49 años. Para los efectos del cálculo se adoptó un T = 20 años para el diseño de la obra de desvío. Del estudio de crecidas se tiene que el caudal asociado a dicho periodo es de 41,0 m³/s para todas las alturas de muro ya que es el mismo punto dentro de la cuenca.

Se proyectó un túnel de medio punto a través de la montaña en donde se apoya el muro CFGD con escurrimiento a superficie libre. Para definir las dimensiones del túnel se tantearon diferentes tamaños para cumplir con $hn/D_{tun}$=0,8 donde $D_{tun}$ corresponde al diámetro del túnel de medio punto. Finalmente, se adoptó una sección de lado $D_{tun}$ = 3,5 m. La capacidad máxima del túnel de desvío es de 45,9 $m^3/s$. También se realizó el diseño para una sección en cajón de 3,5x3,5 m.

Bajo los criterios anteriores se obtuvieron las dimensiones de la obra de desvío presentadas en el Cuadro 10.5.7.2-1. Los cálculos se detallan en el Anexo 10-2, hoja "Túnel de Desvío".

El valor del número de Froude en todos los casos es menor a 1,0, lo que indica que el flujo dentro del túnel es subcrítico. Se cumple con la relación hn/D y $hn/D_{tun}$. En la Figura 10.5.7.2-1 se presentan las dimensiones de las secciones por alternativa.

**CUADRO 7.5.7.2-1**

**CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES DE LA OBRA DE DESVÍO**

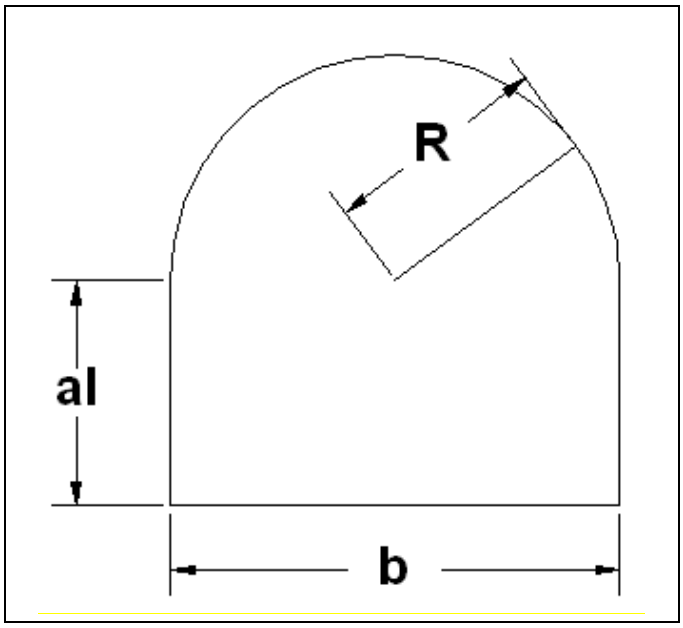
| Variable | Muro CFGD | Muro RCC |
|---|---|---|
| Caudal de diseño Q ($m^3/s$) | 41,0 | 41,0 |
| Tipo | Túnel de Medio Punto | Cajón |
| Dimensiones | 3,5X3,5 | 3,5X3,5 |
| Pendiente túnel i | 0,006 | 0,006 |
| Rugosidad del túnel n | 0,018 | 0,018 |
| Base del túnel b (m) | 3,5 | 3,5 |
| Caudal por unidad de ancho q ($m^3/s/m$) | 11,7 | 11,7 |
| Número de Froude | 0,8 | 0,9 |
| Radio de cielo del túnel R (m) | 1,8 | - |
| Altura de Muro vertical del túnel al (m) | 1,8 | - |
| Altura de escurrimiento normal hn (m) | 2,75 | 2,63 |
| Relación hn/D; hn/Dtun | 0,79 | 0,75 |
| Relación At/A | 0,86 | - |
| Velocidad de Escurrimiento (m/s) | 4,4 | 4,45 |

Fuente: Elaboración propia

La ataguía corresponde a un muro que se construye perpendicularmente en el lecho del río para conducir las aguas de éste hacia el túnel de desvío permitiendo la construcción del muro del embalse. En el Cuadro 10.5.7.2-2 se incluyen las características y dimensiones de la ataguía.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.5.7.2-1**
**ESQUEMA TÚNEL MEDIO PUNTO**




Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 7.5.7.2-2**
**CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES DE LA ATAGUÍA**

| Parámetro | Alternativas de sitios de Muro | | |
|---|---|---|---|
| | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| Material | Empréstitos extraídos del río | | |
| Sección | Trapezoidal | | |
| Altura (m) | 3 | | |
| Taludes (H:V) | 0,5 | | |
| Largo (m) | 50 | 20 | 20 |
| Ancho Coronamiento (m) | 1,0 | | |

Fuente: Elaboración propia

## 7.5.7.3. Sistema de Purga del Embalse

Dado el gran volumen muerto estimado para la obra de embalse se ha analizado a nivel conceptual la posibilidad de incluir un sistema de purga en el embalse.

a) Criterios de Diseño

Para realizar el análisis de un sistema de purgas en el embalse, que arrastre y limpie los sedimentos acumulados en su fondo, se consideraron los siguientes aspectos:

- Cota de Salida del sistema de Purgas 1 metros más debajo de la cota de Volumen Muerto.
- Una tubería de Acero de diámetro igual a 80'' (2000 mm) y de 12 mm de espesor embebida en un dado de hormigón de 3x3.
- Una pendiente de 10% para garantizar altas velocidades.
- Compuerta tipo Caterpilar

b) Cálculos de Caudales y velocidades

Se hizo una estimación de los caudales y velocidades para diferentes cargas las cuales se indican en el Cuadro 10.5.7.3-1.

**CUADRO 7.5.7.3-1**

**CAUDALES Y VELOCIDADES EN DESCARGA DE MEDIO FONDO**

| Carga h desde cota Volumen Muerto (m) | Carga Total (m) | | | Caudal $m^3/s$ | | | Velocidad (m/s) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| 1 | 11,7 | 29 | 12 | 24,90 | 32,89 | 25,13 | 7,9 | 10,5 | 8,0 |
| 2 | 12,7 | 30 | 13 | 25,94 | 33,45 | 26,15 | 8,3 | 10,6 | 8,3 |
| 3 | 13,7 | 31 | 14 | 26,95 | 34,00 | 27,14 | 8,6 | 10,8 | 8,6 |
| 4 | 14,7 | 32 | 15 | 27,91 | 34,55 | 28,09 | 8,9 | 11,0 | 8,9 |
| 5 | 15,7 | 33 | 16 | 28,84 | 35,08 | 29,01 | 9,2 | 11,2 | 9,2 |
| 6 | 16,7 | 34 | 17 | 29,75 | 35,61 | 29,91 | 9,5 | 11,3 | 9,5 |
| 7 | 17,7 | 35 | 18 | 30,63 | 36,13 | 30,77 | 9,7 | 11,5 | 9,8 |
| 8 | 18,7 | 36 | 19 | 31,48 | 36,65 | 31,62 | 10,0 | 11,7 | 10,1 |
| 9 | 19,7 | 37 | 20 | 32,31 | 37,15 | 32,44 | 10,3 | 11,8 | 10,3 |
| 10 | 20,7 | 38 | 21 | 33,12 | 37,65 | 33,24 | 10,5 | 12,0 | 10,6 |

Fuente: Elaboración propia

c) Consideraciones y Experiencia

Este tipo de obras prácticamente no es usado a nivel mundial desde hace más de 40 años, por cuanto se ha probado que su funcionamiento no es muy seguro y sus beneficios no son muy efectivos. En efecto, se presentan los siguientes problemas:

- El desripiado es sólo local, es decir, sólo se arrastran los sedimentos que se encuentran cerca de la obra. El resto de los sedimentos no son afectados.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Existe un gran riesgo en el momento en que se abren las compuertas ya que puede quedar inhabilitada por efecto de los sólidos gruesos que se traban en sus mecanismos de apertura y cierre, lo que implica el desagüe total del embalse. Es decir, ocurre con frecuencia que la compuerta no se logra cerrar completamente.

d) Conclusiones

Dados los antecedentes conocidos se recomienda no proyectar este tipo de obras.

## *7.6. diseño simplificado de obras de conducción y distribución*

### 7.6.1. Trazado Nueva Red de Distribución

Los trazados de la nueva red de canales se asocian a las potenciales zonas de riego. En el Cuadro 10.6.1-1 se presenta el vínculo entre los predios beneficiados y los canales existentes del sector 1 de riego.

**CUADRO 7.6.1-1**
**DESCRIPCIÓN CANALES NUEVA RED DE RIEGO**

| Nombre Propietario | Canal |
|---|---|
| Valentín Mamani | Pailca 1 |
| Basilio Mamani García | Pailca 1 |
| Silvia Amache | Cala Cala 1 |
| Silvia Amache | Cala Cala 2 |
| Osvaldo Fuentes | Ariquida 1 extendido |
| José Evaristo Choque | Ariquida 1 extendido |
| Herlinda Choque García (*) | Ariquida 1 extendido |
| Eleno Choque García | Ariquida 1 extendido |
| Eleno Choque García | Ariquilda 3 |
| Epifania Gomez | Ariquilda 3 |
| Jorge Eustaquio Choque (*) | Ariquilda 4 |

(*) Bien nacional (en trámite de propiedad)

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la zona de expansión agrícola propuesta en el sector de Cerro Unitas se propone el trazado de dos tuberías de 26 y 19,6 km. La primera entre el sector de Ariquilda y Curaña a la cual se le denomina conducción ARI-CU y la segunda entre Curaña y Cerro Unitas (Conducción CU-C.U.). La conducción ARI-CU capta las aguas inmediatamente aguas abajo del sector de riego de Ariquilda y las entregas al canal CU-C.U. A lo largo de su desarrollo cruza dos quebradas las cuales se atravesarían por medio de sifones denominados Sifón 1 y 2. La topografía disponible (modelo de elevación Google Earth) permite separar la conducción en 5 tramos caracterizados por su pendiente media. En el Cuadro 10.6.1-2 se


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

resumen las características principales de la conducción. Los tramos y sifones deben tener una cámara de carga al inicio y al final que permita los cambios de diámetro de la conducción.

**CUADRO 7.6.1-2**
**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES CONDUCCIÓN ARI-CU**

| Tramo | pendiente media | Largo (m) |
|---|---|---|
| Tramo 1 | 0,003 | 9.500 |
| Tramo 2 | 0,002 | 1.800 |
| Tramo 3 | 0,028 | 2.400 |
| Tramo 4 | 0,059 | 1.300 |
| Tramo 5 | 0,020 | 10.328 |
| Sifón 1 | - | 300 |
| Sifón 2 | - | 500 |
| Total | | 26.128 |

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, la conducción CU-C.U. recibe las aguas de la conducción ARI-CU y las conduce hasta el sector de expansión agrícola, donde entrega las aguas a dos canales secundarios, que se encargan de distribuir las aguas. En esta conducción se considera un solo tramo, es decir, un solo diámetro de tubería.

## 7.6.2. Caudales y Sistema de Turnos

Conocidas las hectáreas en cada predio y las tasas de riego de cada sector agrícola se procedió a calcular los caudales por cada conducción. Para ello se consideró el mes de mayor demanda ya que así se asegura que el canal tenga una capacidad de porteo adecuada. En vista de que la mayoría de los caudales obtenidos son pequeños en el sector 1, se propone un sistema de turnos para los canales de dicho sector. En el Cuadro 10.6.2-1 y 10.6.2-2 se resumen los caudales con y sin turnos para el escenario de calidad actual y mejorada respectivamente, además se incluye el número de días correspondiente al turno de cada canal.

**CUADRO 7.6.2-1**
**RESUMEN CAUDALES Y TURNOS DE RIEGO (CALIDAD ACTUAL)**

| Canal | Área potencialmente productiva (ha) | Caudal (L/s) | Turnos (días) | Turnos adoptados (días) | Caudal por turnos adoptados (L/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| Pailca | 4,0 | 7,65 | 3,6 | 4,0 | 59,3 |
| Cala Cala 1 | 3,0 | 5,74 | 2,7 | 3,0 | 59,3 |
| Cala Cala 2 | 1,0 | 1,91 | 0,9 | 1,0 | 59,3 |
| Ariquilda 1 | 19,5 | 37,30 | 17,5 | 17,0 | 68,0 |
| Ariquilda 3 | 6,0 | 11,48 | 5,4 | 5,0 | 71,2 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ariquilda 4 | 1,0 | 1,91 | 0,9 | 1,0 | 59,3 |
| Total | 34,5 | 66,0 | 31 | 31 | |

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte los caudales asociados a los volúmenes útiles analizados para el sector 2 se indican en el Cuadro 10.6.2-3.

**CUADRO 7.6.2-2**
**RESUMEN CAUDALES Y TURNOS DE RIEGO (CALIDAD MEJORADA)**

| Canal | Área potencialmente productiva (ha) | Caudal (L/s) | Turnos (días) | Turnos adoptados (días) | Caudal por turnos adoptados (L/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| Pailca | 4,0 | 5,51 | 3,6 | 4,0 | 42,7 |
| Cala Cala 1 | 3,0 | 4,13 | 2,7 | 3,0 | 42,7 |
| Cala Cala 2 | 1,0 | 1,38 | 0,9 | 1,0 | 42,7 |
| Arequilda 1 | 19,5 | 26,85 | 17,5 | 17,0 | 49,0 |
| Arequilda 3 | 6,0 | 8,26 | 5,4 | 5,0 | 51,2 |
| Arequilda 4 | 1,0 | 1,38 | 0,9 | 1,0 | 42,7 |
| Total | 34,5 | 47,51 | 31 | 31 | - |

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 7.6.2-3**
**RESUMEN CAUDALES DEMANDADOS SECTOR PAMPA**

| Volumen Útil (hm³) | Volumen Umbral (hm³) | Q diseño conducciones Calidad Actual (L/s) | | | Q diseño conducciones Calidad Mejorada (L/s) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ALT1 | ALT2 | ALT3 | ALT1 | ALT2 | ALT3 |
| 3 | 9,0 | 133 | 133 | 133 | 125 | 125 | 125 |
| 6 | 12,0 | 223 | 223 | 223 | 193 | 193 | 193 |
| 9 | 15,0 | 269 | 269 | 269 | 235 | 235 | 235 |
| 12 | 18,0 | 293 | 293 | 293 | 251 | 251 | 251 |
| 15 | 21,0 | 314 | 314 | 314 | 269 | 269 | 269 |

Fuente: Elaboración propia

## 7.6.3. Diseños Propuestos

### 7.6.3.1. Aspectos Generales

A partir de los caudales obtenidos se realizaron diseños para los canales del sector 1 considerando el sistema de turnos indicado en el acápite 10.6.2.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Además, se obtuvieron los diseños paramétricos de la conducción ARI-CU y CU-C.U. para distintos rangos de caudales.

### 7.6.3.2. Criterios de Diseños

Se definieron los siguientes criterios de diseño.


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Canales sector 1

    - Caudal de diseño: se considera caudal de diseño el obtenido al aplicar el sistema de turnos propuesto para el sector 1 considerando una calidad de agua igual a la actual. Al elegir este escenario de calidad se obtienen diseños conservadores. Dichos caudales fueron redondeados a números cerrados enteros.

    - Los canales se proyectan en sección rectangular y revestidos con losetas de hormigón.

    - La pendiente de los canales será la misma que se ha encontrado en terreno, de acuerdo a la restitución aerofotogramétrica realizada para la presente consultoría.

    - El cálculo hidráulico se realizó utilizando la ecuación de manning considerando una rugosidad "n" igual a 0,015 para el hormigón. Este cálculo se hizo por tramos de 20 m de longitud.

- Conducción a Sector 2 en canal (sólo conducción CU-C.U.)

    - Se diseña en forma paramétrica para diferentes caudales (50, 100, 200, 300, 400, 600 y 600 L/s).

    - Los caudales se proyectan revestidos en hormigón con una sección rectangular, preferentemente que no sean de altura mayor a los 0,6 m.

    - El flujo dentro del canal debe ser de preferencia subcrítico y cumplir con la razón En/Ec>1,1; donde "En" es la energía del escurrimiento con altura normal y "Ec" es la energía de escurrimiento crítico.

    - La pendiente de los canales será la misma que se ha encontrado en terreno, de acuerdo a la restitución aerofotogramétrica realizada para la presente consultoría, con una pendiente mínima de 2/1000. La pendiente máxima es la necesaria para cumplir con la relación En/Ec>1,1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- El cálculo hidráulico se realizó utilizando la ecuación de manning considerando una rugosidad "n" igual a 0,015 para el hormigón. Este cálculo se hizo por tramos de 100 m de longitud.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Conducción a Sector 2 en Acueducto

    - Se diseña en forma paramétrica para diferentes diámetro de tubería, de preferencia HDPE PN4 (250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710 y 800 mm). El diámetro es constante de principio a fin.

    - Para cada diámetro se definen los rangos de caudal que cumplan con la relación h/D>=0,8 a lo largo de todo el trazado; donde h es la altura de escurrimiento y D es el diámetro interno de la tubería.

    - La pendiente de los canales será la misma que se ha encontrado en terreno, de acuerdo a la restitución aerofotogramétrica realizada para la presente consultoría, con una pendiente mínima de 3/1.000 y una máxima de 9/1.000.

    - El cálculo hidráulico se realizó utilizando la ecuación de manning considerando una rugosidad "n" igual a 0,011 para la tubería de HDPE. Este cálculo se hizo por tramos de 100 m de longitud.

- Conducción Sector 2 en Presión

    - Se diseña en forma paramétrica para diferentes caudales (50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800 L/s).

    - La velocidad máxima del flujo no debe superar los 3,0 m/s.

    - El material de la tubería es HDPE PE100 PN6, por lo tanto las presiones no pueden ser mayores a 60 mca. Se considera una presión inicial de 5 mca.

    - El cálculo hidráulico se realizó utilizando la ecuación de Bernoulli. Las pérdidas friccionales se calcularon a partir de los métodos de Hazen-Williams (C = 150 para el HDPE) y Darcy-Weisbach (n = 0,011) Este cálculo se hizo por tramos de 100 m de longitud. Las pérdidas singulares fueron despreciadas.

- Sifones


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Se diseña en forma paramétrica para diferentes diámetro de tubería, de preferencia HDPE PN4 (250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710 y 800 mm). El diámetro es constante de principio a fin.

- La velocidad máxima del flujo no debe superar los 3,0 m/s.

- El cálculo hidráulico se realizó utilizando la ecuación de Bernoulli. Las pérdidas friccionales se calcularon a partir del método de Hazen-Darcy-Weisbach (n = 0,011).

  Las pérdidas singulares se calcularon a partir de la siguiente ecuación:

$$H_{sing} = \left(2 \cdot K_t + K_e + K_b + 2 \cdot K_g + K_v\right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

  Donde, Kt es el coeficiente de pérdida de la rejilla para basuras, Ke el coeficiente de pérdida a la entrada, Kb el coeficiente de pérdida por cambio de dirección y Kv, el coeficiente de velocidad de carga de salida.

## 7.6.3.3. Cálculos y Dimensiones de las Obras Proyectadas

Canales Sector 1

Los diseños de los canales que conformarían la red de distribución del sector 1 de riego se resumen en el Cuadro 10.6.3.3-1, el detalle de los cálculos se adjunta en el Anexo 10-3.

**CUADRO 7.6.3.3-1**
**RESUMEN RESULTADOS CANALES SECTOR 1 DE RIEGO**

| Canal | Caudal de Diseño (L/s) | Pendiente promedio | Altura normal promedio (m) | Ancho máx. canal (m) | Ancho mín. canal (m) | Altura máx. canal (m) | Altura mín. canal (m) | Velocidad máx. (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pailca | 60 | 0,015 | 0,17 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,30 | 1,33 |
| Cala Cala 1 | 60 | 0,013 | 0,22 | 0,40 | 0,30 | 0,40 | 0,20 | 1,00 |
| Cala Cala 2 | 60 | 0,026 | 0,16 | 0,40 | 0,30 | 0,40 | 0,20 | 1,49 |
| Ariquilda 1 | 70 | 0,004 | 0,29 | 0,40 | 0,30 | 0,50 | 0,30 | 0,78 |
| Ariquilda 3 | 72 | 0,023 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,30 | 1,25 |
| Ariquilda 4 | 60 | 0,020 | 0,15 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,20 | 1,50 |

Fuente: Elaboración propia

Conducción Ariquilda – Curaña (ARI-CU)


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Los diámetros obtenidos para la conducción ARI-CU trabajando como acueducto se presentan en el Cuadro 10.6.3.3-4. En él se aprecia que los tramos 1 y 2 necesitan diámetros mayores debido a la baja pendiente existente en terreno. Lo mismo sucede con el sifón 1, pero está vez, la razón de su gran diámetro corresponde a la poca diferencia de cota entre su entrada y salida. Los cálculos y resultados se presentan en el Anexo 3-2.
Si se considera que la tubería funcione en presión los diámetros obtenidos para cada uno de los casos se presentan en el Cuadro 10.6.3.3-3. Los diámetros son menores cuando la tubería trabaja en presión.

## CUADRO 7.6.3.3-2
## DIMENSIONES CONDUCCIÓN ARIQUILDA - CURAÑA ACUEDUCTO

| Volumen Umbral ($hm^3$) | Diámetro cond. Cal. Actual - Todas las ALT | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tramo 1 | Tramo 2 | Tramo 3 | Tramo 4 | Tramo 5 | Sifón 1 | Sifón 2 |
| 9,0 | 560 | 560 | 355 | 450 | 355 | 599 | 338 |
| 12,0 | 630 | 630 | 450 | 560 | 450 | 633 | 428 |
| 15,0 | 710 | 710 | 450 | 560 | 450 | 675 | 475 |
| 18,0 | 710 | 710 | 500 | 630 | 500 | 761 | 475 |
| 21,0 | 710 | 710 | 500 | 630 | 500 | 761 | 475 |
| Volumen Umbral ($hm^3$) | Diámetro cond. Cal. Mejorada - Todas las ALT | | | | | | |
| | Tramo 1 | Tramo 2 | Tramo 3 | Tramo 4 | Tramo 5 | Sifón 1 | Sifón 2 |
| 9,0 | 560 | 560 | 355 | 450 | 355 | 599 | 338 |
| 12,0 | 630 | 630 | 400 | 500 | 400 | 599 | 380 |
| 15,0 | 630 | 630 | 450 | 560 | 450 | 633 | 428 |
| 18,0 | 710 | 710 | 450 | 560 | 450 | 675 | 428 |
| 21,0 | 710 | 710 | 450 | 560 | 450 | 675 | 475 |

Fuente: Elaboración propia

## CUADRO 7.6.3.3-3
## DIMENSIONES CONDUCCIÓN ARIQUILDA-CURAÑA EN PRESIÓN

| Volumen Umbral ($hm^3$) | Diámetro cond. Cal. Actual - Todas las ALT | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tramo 1 | Tramo 2 | Tramo 3 | Tramo 4 | Tramo 5 | Sifón 1 | Sifón 2 |
| 9,0 | 450 | 560 | 280 | 450 | 355 | 400 | 280 |
| 12,0 | 560 | 710 | 315 | 500 | 400 | 500 | 315 |
| 15,0 | 630 | 800 | 355 | 560 | 450 | 560 | 355 |
| 18,0 | 630 | 800 | 355 | 560 | 450 | 560 | 355 |
| 21,0 | 630 | 800 | 355 | 630 | 500 | 560 | 355 |
| Volumen Umbral ($hm^3$) | Diámetro cond. Cal. Mejorada - Todas las ALT | | | | | | |
| | Tramo 1 | Tramo 2 | Tramo 3 | Tramo 4 | Tramo 5 | Sifón 1 | Sifón 2 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9,0 | 450 | 560 | 250 | 450 | 315 | 400 | 250 |
| 12,0 | 560 | 710 | 315 | 500 | 400 | 500 | 315 |
| 15,0 | 560 | 710 | 315 | 560 | 450 | 500 | 315 |
| 18,0 | 630 | 710 | 355 | 560 | 450 | 560 | 355 |
| 21,0 | 630 | 800 | 355 | 560 | 450 | 560 | 355 |

Fuente: Elaboración propia

Conducción Curaña – Cerro Unitas (CU-C.U.)

La conducción Curaña – Cerro Unitas se proyectó en un canal de hormigón y en tuberías de HDPE trabajando como acueducto y en presión. Los resultados se incluyen en el Cuadro 10.6.3.3-4, 10.6.3.3-5 y 10.6.3.3-6.

**CUADRO 7.6.3.3-4**

**DIMENSIONES CONDUCCIÓN CURAÑA - CERRO UNITAS EN CANAL**

| Volumen Umbral (hm³) | Dimensiones (ancho X alto) cond. Cal. Actual - Todas las ALT | Dimensiones (ancho X alto) cond. Cal. Mejorada - Todas las ALT |
|---|---|---|
| 9,0 | 0,6X0,5 | 0,6X0,5 |
| 12,0 | 0,8X0,5 | 0,6X0,5 |
| 15,0 | 0,8X0,5 | 0,8X0,5 |
| 18,0 | 0,8X0,5 | 0,8X0,5 |
| 21,0 | 0,8X0,5 | 0,8X0,5 |

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 7.6.3.3-5**

**DIMENSIONES CONDUCCIÓN CURAÑA-CERRO UNITAS ACUEDUCTO**

| Volumen Umbral (hm³) | Diámetro cond. Cal. Actual - Todas las ALT | Diámetro cond. Cal. Mejorada - Todas las ALT |
|---|---|---|
| 9,0 | 450 | 450 |
| 12,0 | 560 | 500 |
| 15,0 | 560 | 560 |
| 18,0 | 630 | 560 |
| 21,0 | 630 | 560 |

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 7.6.3.3-6**


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**DIMENSIONES CONDUCCIÓN CURAÑA-CERRO UNITAS EN PRESIÓN**

| Volumen Umbral ($hm^3$) | Diámetro cond. Cal. Actual – Todas las ALT | Longitud cond. Cal. Actual – Todas las ALT | Diámetro cond. Cal. Mejorada - Todas las ALT | Longitud cond. Cal. Mejorada – Todas las ALT |
|---|---|---|---|---|
| 9,0 | 400 | 19.640 | 400 | 19.640 |
| 12,0 | 500-450 | 7.640-12.000 | 400 | 19.640 |
| 15,0 | 500-450 | 7.640-12.000 | 500-450 | 7640-12.000 |
| 18,0 | 500-450 | 7.640-12.000 | 500-450 | 7640-12.000 |
| 21,0 | 560-500 | 9.900-9.740 | 500-450 | 7640-12.000 |

Fuente: Elaboración propia

Recomendación Final

De los cuadros se puede concluir que la conducción en presión presenta dimensiones menores que se reflejarían en los costos de la obra, sin embargo, una tubería en presión conlleva gastos mayores cuidados en la gestión y operación de la conducción, obligando a capacitar personal lo que aumenta los gastos.

Por otra parte los canales deben ser inspeccionados al menos una vez al año debido a lo expuestos que se están a animales y derrames de sedimentos entre otros. Por esta razón se propone que las conducciones se proyecten en acueducto.

## *7.7. Protección contra la erosión*

El coronamiento del muro será protegido por medio de una capa de hormigón pobre que evite su erosión por el efecto de aguas lluvias. Además, se incluirá una canaleta que permita evacuar dichas aguas.

## *7.8. prediseño planta mejoramiento de calidad de aguas*

En este Acápite se presentan las alternativas de tratamiento evaluadas para el mejoramiento de la calidad del agua asociada al mejoramiento del sistema de riego en la quebrada Aroma. En primer lugar se ha estudiado el estado del arte en lo que se refiere a tecnologías de desalinización, sus aplicaciones y su uso en Chile. En segundo lugar se han estudiado las obras factibles de llevar a cabo para mejorar la calidad del agua y los efectos esperados.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

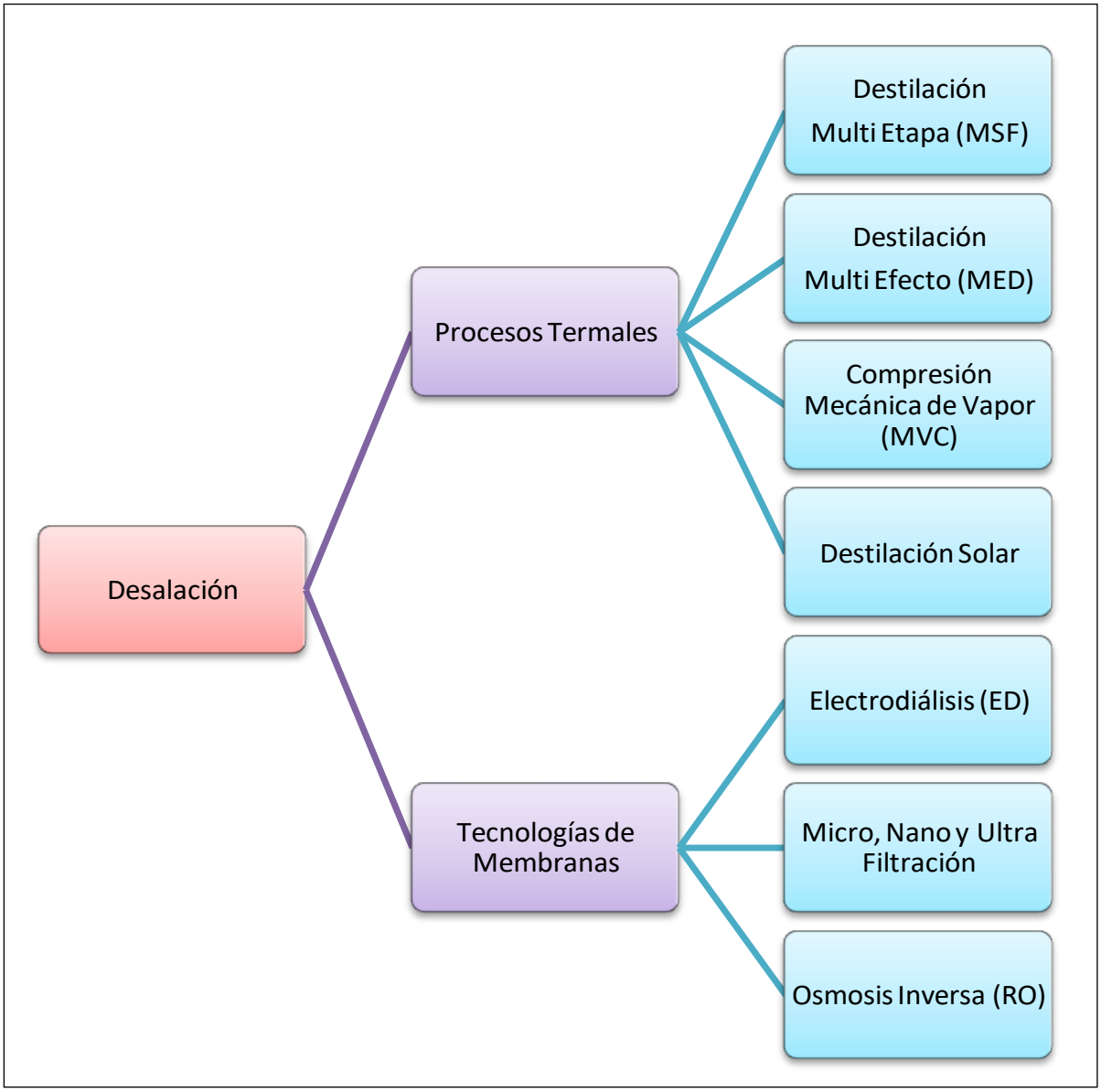
## 7.8.1. Mejoramiento a Través de Tecnologías de Desalación

### 7.8.1.1. Generalidades

Como punto de partida se muestra en la Figura 10.8.1.1-1 un esquema que muestra los diferentes tipos de tecnologías de desalación, las que se dividen en 2 grandes grupos: procesos termales y tecnologías de membranas. En lo que sigue del capítulo se presenta una breve descripción de cada una de estas tecnologías, separadas en procesos termales y tecnologías de membranas.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.8.1.1-1**
**TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN**




Fuente: Elaboración propia a partir información "Water Treatment Solutions Lenntech. http://www.lenntech.es/desalacion/desalacion.htm

### 7.8.1.2. Antecedentes Bibliográficos

Para el desarrollo de este capítulo, se identificó y analizó bibliografía disponible en internet y otras fuentes. Los documentos considerados para el análisis se presentan electrónicamente en el Anexo 10-4, y se listan en lo que sigue:

| # | Tema | Link o Fuente |
|---|---|---|
| **1** | Procesos de Desalación | http://www.ecoagua.com/files/published-articles/Procesos_Desalacion.pdf |
| **2** | Guía de Desalación: Aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano | http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/agencia_andaluza_del_agua/ciclo_integral_del_agua_urbana/desalacion/ministerio_sanidad_guia_desalacion.pdf |
| **3** | Destilación Multi Etapa (MSF) | http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_msf1.pdf |
| **4** | Compresión Mecánica de Vapor (MVC) | http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_cv4.pdf |
| **5** | Osmosis Inversa | http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_ro3.pdf |
| **6** | Electrodiálisis | http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_ed6.pdf |
| **7** | Destilación Solar | http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_solar5.pdf |
| **8** | Micro filtración, Ultrafiltración y Nano filtración | http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_filt7.pdf |
| **9** | Desalinización en sistemas de agua potable rural | DOH |
| **10** | Agua potable Lluta, Azapa, Pampa del Tamarugal | Aguas del Altiplano |
| **11** | Desalinización de Aguas | http://www.cnea.gov.ar/pdfs/revista_cnea/9/desalinizacion_de_aguas.pdf |
| **12** | Comparación Económica de Procesos de Desalación de Agua de Mar: El Reto de la Destilación Multi-Efecto con Energía Solar | http://www.psa.es/webeng/aquasol/files/Congresos/Alarcon%20-%20Congreso%20Iberico%20(04.11.2002).pdf |
| **13** | Análisis de los Procesos Para Desalinización de Agua de Mar Aplicando la Inteligencia Competitiva y Tecnológica | http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen11/analisis_de_los_procesos.pdf |
| **14** | El Impacto Social y Económico de la Desalación de Agua de Mar | http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/6/2524/11.pdf |
| **15** | Purificación del Agua por Osmosis Inversa | http://www.excelwater.com/esp/b2c/water_tech_5.php |
| **16** | La Desalación como Alternativa al PHN | http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.pdf |
| **17** | Cost Guidance for Seawater Desalination Facilities in Texas | https://www.twdb.texas.gov/publications/reports/numbered_reports/doc/R363/C13.pdf |
| **18** | Tecnologías de Membrana-Nanofiltración | http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_23.pdf |
| **19** | History of Desalination Cost Estimations | http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/IDS/71.pdf |
| **20** | Consideraciones Básicas y Viabilidad de Procesos de Membranas de Ósmosis | http://www.bdigital.unal.edu.co/1924/1/williamramirezgomez.2006.pdf |

| # | Tema | Link o Fuente |
|---|---|---|
| | Inversa y Nanofiltración Como Alternativa Para el Tratamiento de Agua en Colombia | |
| **21** | Análisis Comparativo de los Procesos de Desalinización del Agua: Destilación Súbita Por Efecto Flash (MSF) Frente Osmosis Inversa (OI), Bajo la Metodología de Evaluación de Ciclo de Vida | http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13424/1/Tesis.pdf |
| **22** | Costes Económicos y Medioambientales de la Desalación de Agua de Mar | http://departamento.us.es/ciberico/archivos_acrobat/ManuelLatorre.pdf |
| **23** | Plantas de Tratamiento Boroless para Abatimiento de Boro en Solución Acuosa | Folleto comercial, facilitado por la CNR |
| **24** | Desalinización de Aguas Salobres Mediante Electrodiálisis y Energía Solar Fotovoltaica para Consumo Humano y Uso Agrícola | Perfil del Proyecto, facilitado por la CNR |

## 7.8.1.3. Procesos Termales

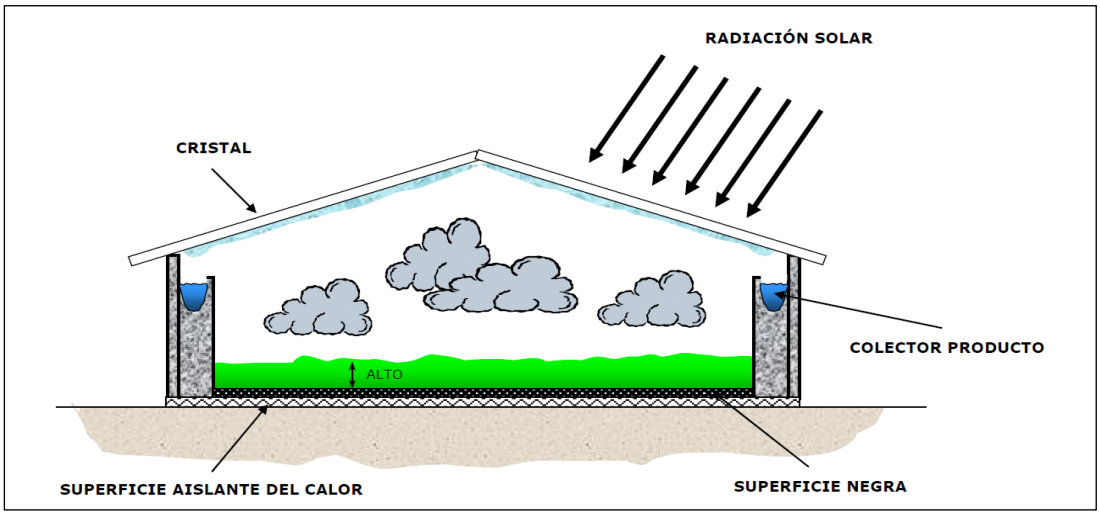
### a) *Generalidades*

Los procesos termales son aquellos en los que la producción de agua se produce por calentamiento del agua cruda. En lo que sigue se describen 4 procesos termales.

### b) *Destilación Solar*

El esquema típico de este proceso se presenta en la Figura 10.8.1.3-1. Para este proceso, la fuente energética es el sol, y se requieren grandes superficies para el tratamiento. El sistema es similar a un invernadero, y tiene un bajo rendimiento, produciendo entre 1 y 4 L/día/$m^2$ de superficie. Es útil en zonas con altas radiaciones y gran cantidad de horas de sol.

**FIGURA 7.8.1.3-1**
**ESQUEMA SISTEMA DESTILACIÓN SOLAR**



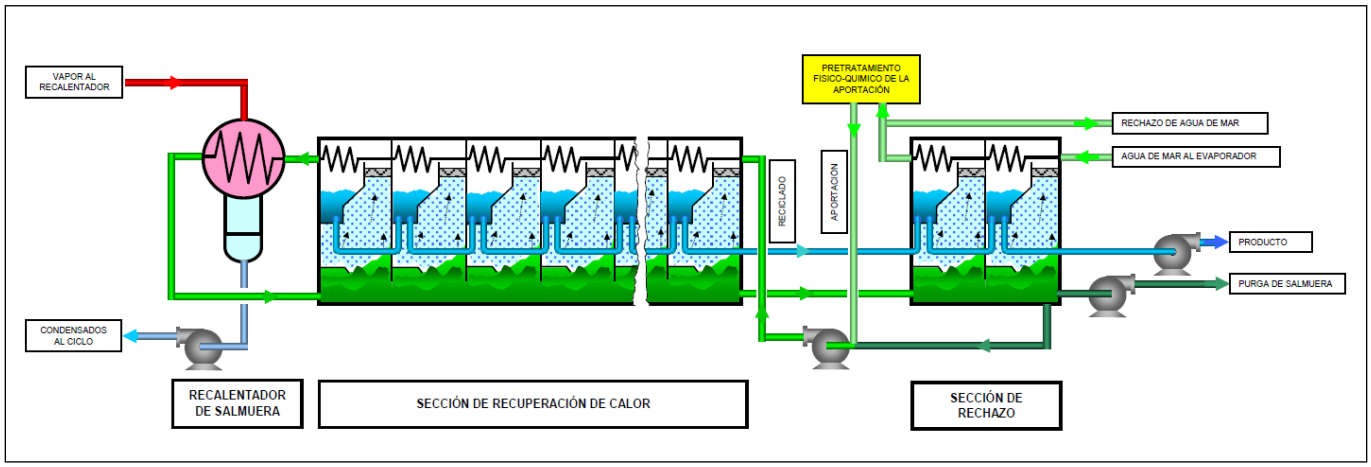

Fuente: http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_solar5.pdf.

### c) *Destilación Multi Etapa (MSF)*

Este proceso se presenta gráficamente en la Figura 10.8.1.3-2. Esta técnica consiste en destilar agua de mar, para luego condensarla, utilizando el calor residual para calentar más agua para luego evaporarla. El proceso se repite muchas veces, de manera de aprovechar el calor en mejor forma. Dependiendo de la composición físico-química del agua, en algunos casos es necesario agregar elementos químicos para precipitar sales e incrustantes que hacen ineficiente el proceso.

**FIGURA 7.8.1.3-2**
**ESQUEMA DESTILACIÓN MULTI ETAPA (MSF)**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_msf1.pdf.

### d) *Destilación Multi Efecto (MED)*

En el proceso MED el agua a desalinizar pasa a través de una serie de evaporadores puestos en serie. El vapor de una de las celdas se usa para evaporar el agua de la siguiente mientras que el aporte de energía primaria se hace sobre la primera de las celdas o etapas. El proceso MED utiliza el mismo principio que el proceso MSF. La diferencia principal entre el proceso MED y el MSF radica en la forma en que se lleva a cabo la evaporación. En las plantas de MED se utilizan varios evaporadores del tipo de película delgada (la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo), con los cuales se logran mejores coeficientes de transferencia de calor que los que se pueden obtener en las plantas de MSF donde se produce la evaporación súbita en forma directa.

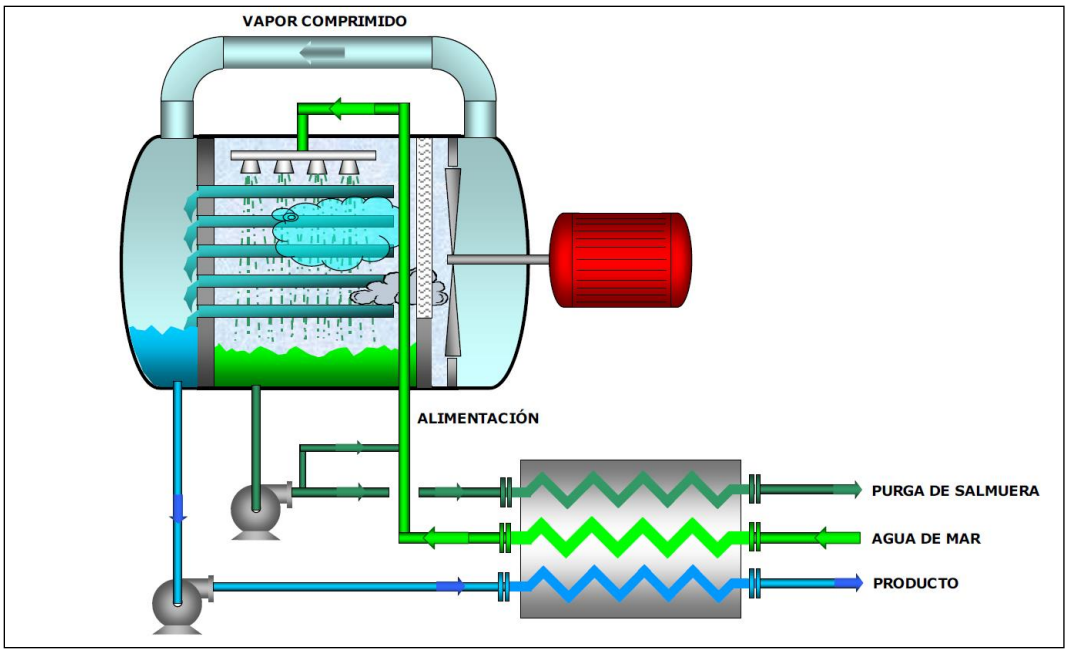
### e) *Compresión Mecánica de Vapor (CMV)*

Este proceso consiste en la evaporación del agua a base de suministrarle calor procedente de la compresión de vapor, en vez de transmitir el calor mediante contacto directo con un cuerpo sólido caliente, tal como se muestra en la Figura 10.8.1.3-3. Este tipo de plantas se diseñan para que funcionen reduciendo el punto de ebullición del agua mediante disminución de la presión. El compresor crea vacío en un extremo de un recipiente por donde extrae el vapor de agua formado, pero por el otro extremo comprime dicho vapor formado y lo condensa en el interior de unos tubos. El agua cae sobre estos tubos calientes y se evapora. Posteriormente, mediante compresión del vapor y puesta en contacto de este con el agua alimento, se logra la evaporación del agua y la eliminación de las sales en una salmuera muy concentrada.

**FIGURA 7.8.1.3-3**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**ESQUEMA COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR**




Fuente: http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_cv4.pdf.

## 7.8.1.4. Tecnologías de Membranas

### a) *Generalidades*

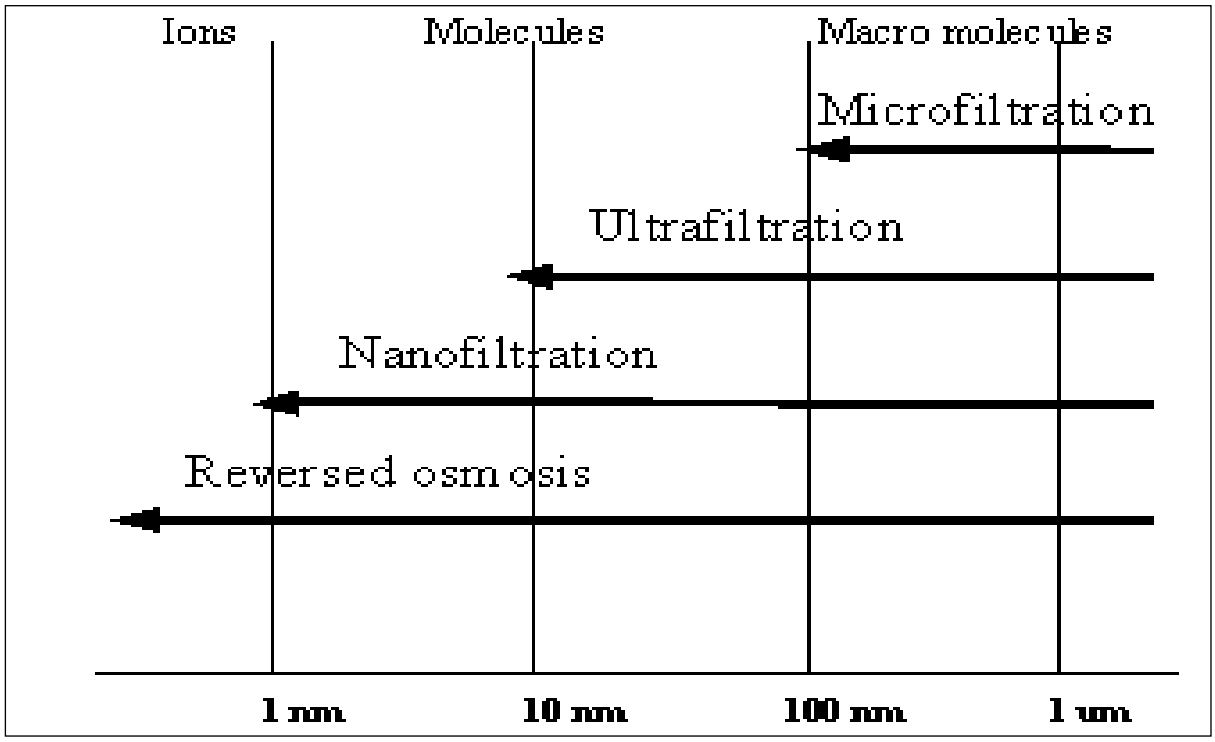
Este tipo de tecnología se ha convertido en una parte importante de la tecnología de la separación en los últimos decenios. Su principal característica es que no requiere la adición de productos químicos, aunque su adición mejora el proceso, un uso relativamente bajo de la energía y conducciones de proceso fáciles y bien dispuestas. La tecnología de la membrana es un término genérico para una serie de procesos de separación diferentes y muy característicos. El principio de funcionamiento es bastante simple: la membrana actúa como un filtro muy específico que deja pasar el agua, mientras que retiene los sólidos suspendidos y otras sustancias.

### b) *Micro, Ultra y Nano Filtración*

Los procesos de Micro, Ultra y Nano Filtración son procesos que se diferencian en el tamaño de las partículas que se deben remover, es decir, su uso depende del tipo de agua a tratar, y del uso que se le debe dar, según se muestra en la Figura 10.8.1.4-1, en que se muestra el rango de aplicación de estas tecnologías desde 1 µm hasta partículas de 1 nm de diámetro.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.8.1.4-1**
**APLICACIÓN MICRO, ULTRA Y NANO FILTRACIÓN**



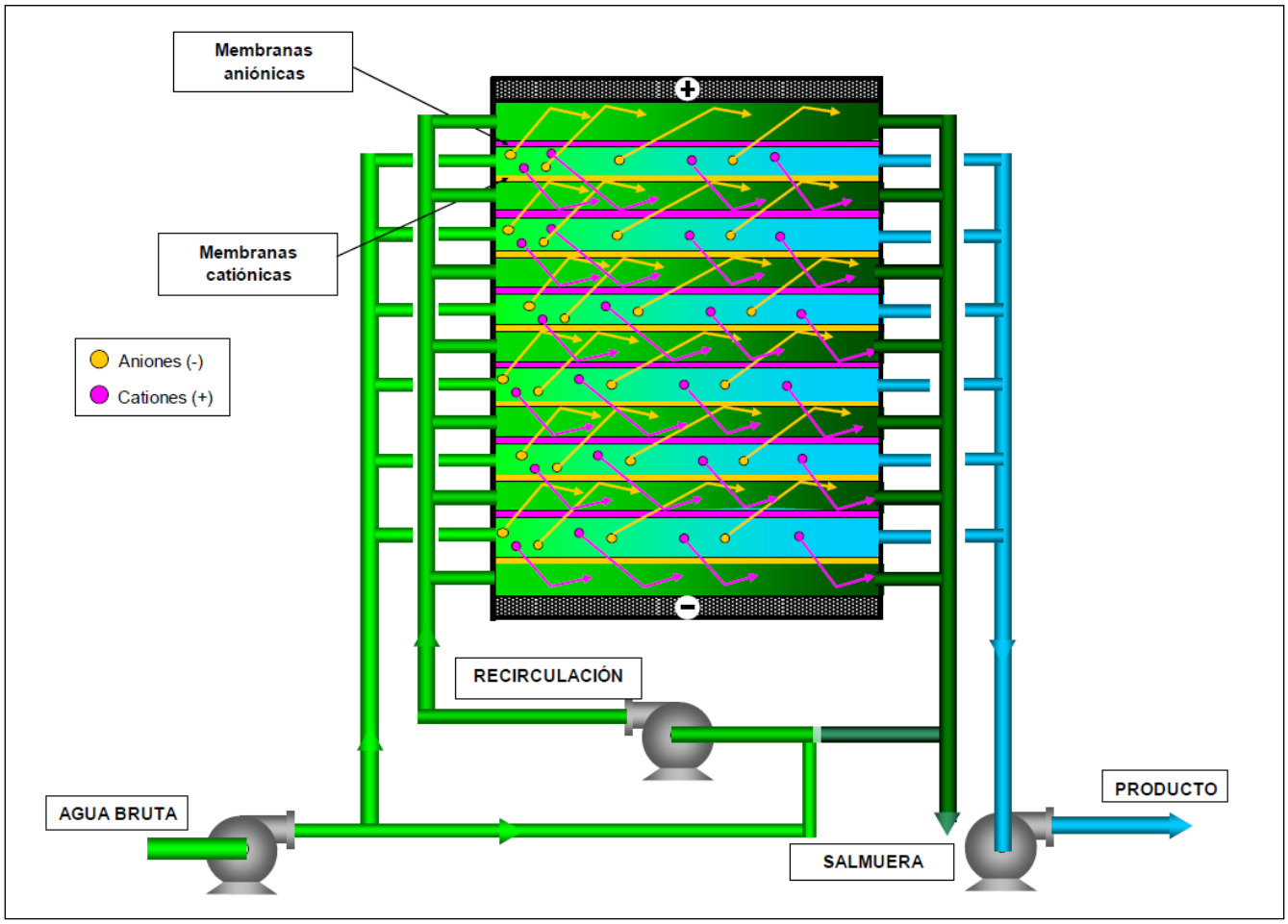

Fuente: http://www.lenntech.es/tecnologia-de-membrana.htm.

### c) *Electrodiálisis*

En este proceso mostrado en la Figura 10.8.1.4-2, se utiliza energía eléctrica para generar un campo eléctrico, el que permite separar los cationes y aniones presentes en el agua mediante membranas especializadas en capturar las partículas positivas y negativas en forma separada.

La Universidad Católica del Norte (UCN) implementó una experiencia piloto con esta tecnología en la comuna de Quillagua en que se buscaba tener un prototipo de un sistema de desalinización para la zona, se realizara una evaluación técnica y económica para uso en agua potable.

**FIGURA 7.8.1.4-2**
**ESQUEMA ELECTRODIÁLISIS**



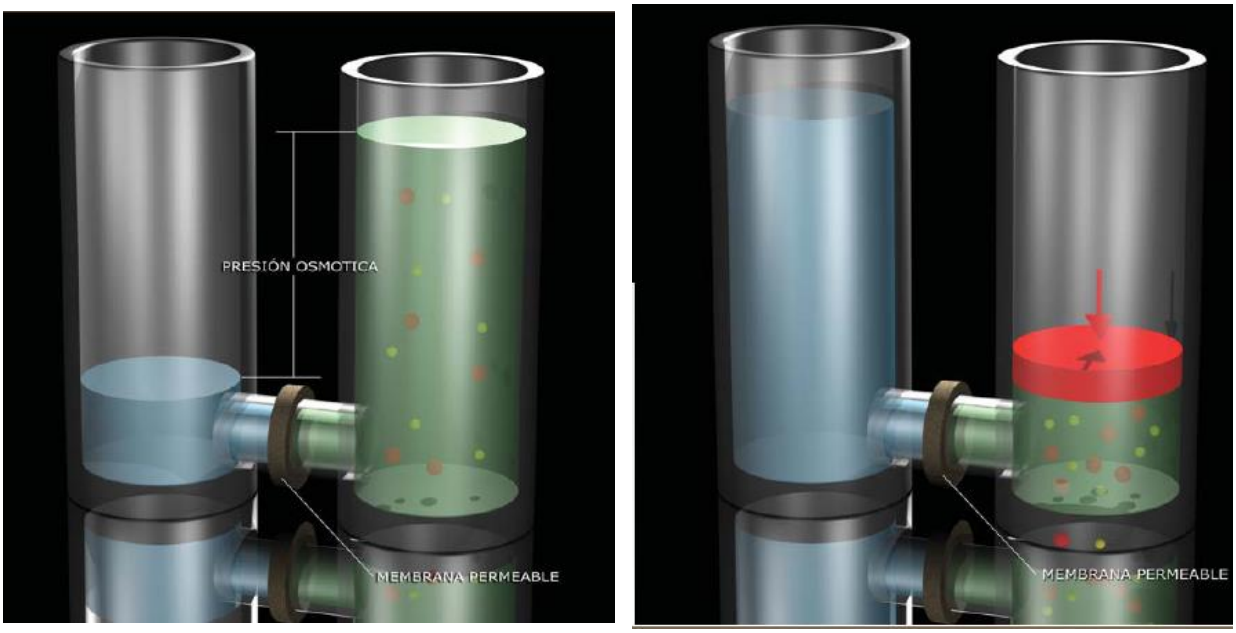

Fuente: http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_ed6.pdf.

### d) *Osmosis Inversa*

El proceso de osmosis inversa es una técnica modelada a partir del proceso biológico de osmosis, en el que en las células los elementos químicos disueltos en la sangre y otros fluidos se mueven a través de las paredes de las células, moviéndose desde una zona a la otra. En el proceso de osmosis inversa, lo que se transfiere es la parte liquida, quedando en un lado de la membrana los iones concentrados. En la Figura 10.8.1.4-3 se muestra en forma esquemática este proceso, en el que se muestra en primer lugar un set de estanques en equilibrio, el que luego de aplicar presión se produce un flujo en la dirección inversa. Este proceso es altamente intensivo en el uso de energía para provocar el flujo, además de mover el flujo hacia las membranas y desde ellas. Adicionalmente, dependiendo de la calidad del agua cruda, se hace necesario realizar un pretratamiento químico del agua.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.8.1.4-3**
**PROCESO DE OSMOSIS INVERSA**




Fuente: http://www.ecoagua.com/files/published-articles/Procesos_Desalacion.pdf.

### e) *Plantas de Tratamiento BOROLESS®*

Otro tipo de tratamiento posible de usar es la tecnología BOROLESS® desarrollada en Chile por la empresa ASITEC Innovación Ltda. Esta tecnología permite el abatimiento de agua con altas concentraciones de boro a un bajo costo. Desafortunadamente requiere para su operación ácido sulfúrico y soda cáustica, en cantidades que hace que la tecnología sea difícil de implementar. Su aplicación está limitada fundamentalmente al tratamiento intrapredial.

Tecnología ABAR

Esta tecnología también es útil para el tratamiento del boro, aunque trabaja en forma diferente tiene las mismas limitaciones que la tecnología indicada en el acápite anterior, por lo que su uso en gran escala no es adecuado.

**FIGURA 7.8.1.4-4**
**PLANTA DE TRATAMIENTO BOROLESS**



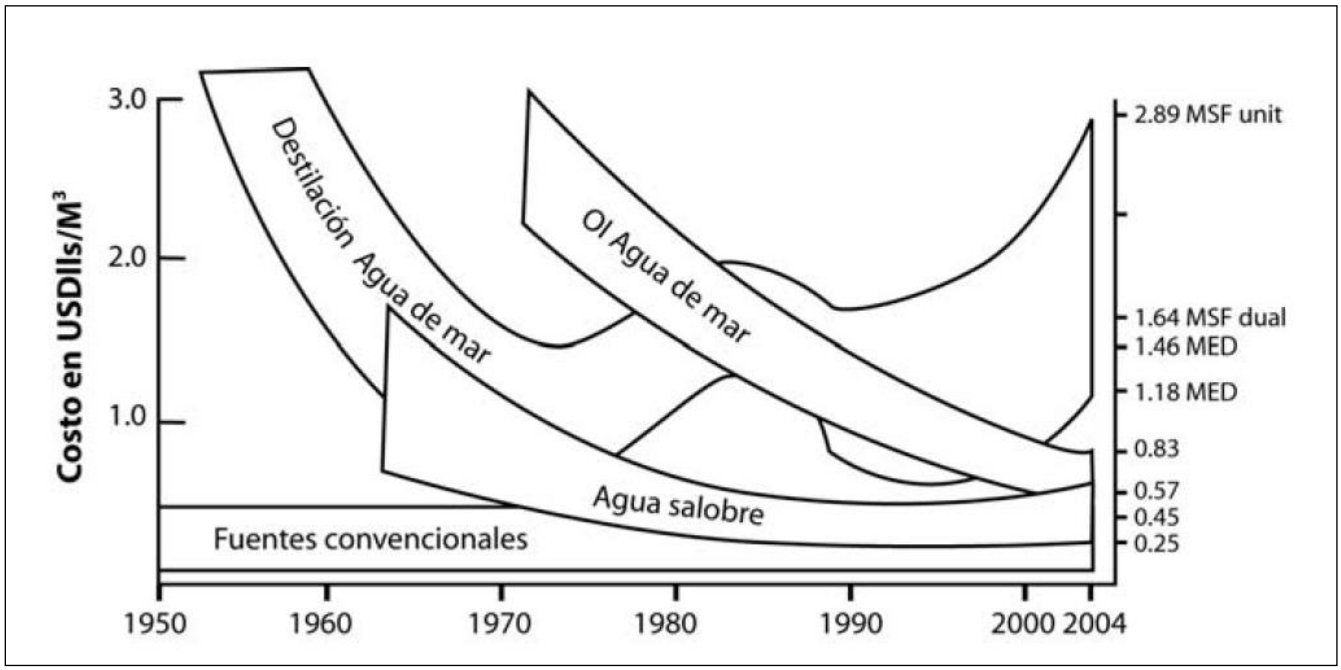
Fuente: Asitec Innovación, 2012.

## 7.8.1.5. Evolución del Costo de los Procesos de Desalación

Históricamente las metodologías de desalación han sido más costosas que las técnicas tradicionales para la obtención de agua, pero el tiempo muestra que el desarrollo alcanzado ha hecho que el costo de desalación sea cada vez más económico. Esto se muestra en forma esquemática en la Figura 10.8.1.5-1. La figura muestra claramente el descenso en el costo de la producción de agua con osmosis inversa en el tiempo. En todo caso, el problema que persiste es el del tamaño de las obras necesarias.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.8.1.5-1**
**EVOLUCIÓN DEL COSTO DE DESALACIÓN**




Fuente: El Impacto Social y Económico de la Desalación de Agua de Mar
http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/6/2524/11.pdf.

## 7.8.1.6. Análisis Comparativo de los Métodos de Desalación de Aguas

En lo que sigue se presenta información más detallada de costos de desalación de agua de mar, lo que en general representa el extremo superior del costo de tratamiento, dado que el desalamiento de aguas salobres es en general más barato que el de agua de mar. En primer lugar se presenta en el Cuadro 10.8.1.6-1 un resumen con algunos parámetros, fuente de energía y tendencia mundial de uso. El cuadro muestra claramente que las tecnologías termales están en retirada, con excepción de la tecnología de destilación solar que está con un pequeño grado de crecimiento. Por otra parte, las tecnologías de membrana están en crecimiento ya que la tecnología ha madurado lo suficiente, con lo cual el costo de aplicación e instalación de las tecnologías ha disminuido notablemente.
En términos de superficie utilizada, las tecnologías de desalación requieren una superficie proporcional al flujo a obtener, siendo mayor a mayor flujo. Por otra parte, para las otras tecnologías, existen rangos de flujo, para los cuales la superficie requerida es relativamente

constante, creciendo desde un cierto valor en adelante. Esto se ilustra en la Figura 10.8.1.6-1.

## CUADRO 7.8.1.6-1
## COMPARACIÓN ENTRE TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN

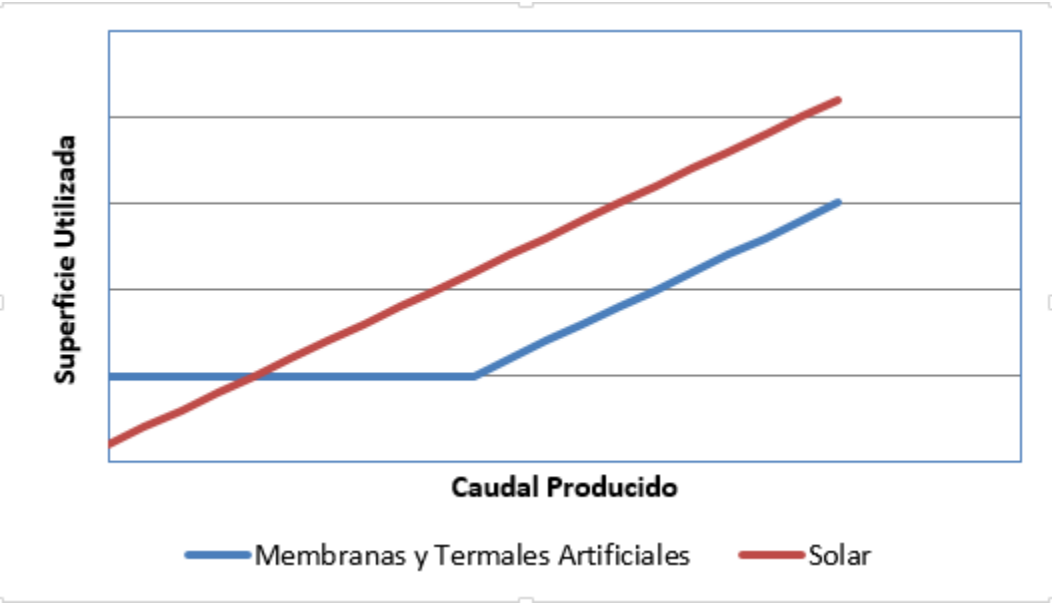
| Tecnología | Parámetro a Comparar | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Consumo de Energía Fósil | Costos Unitarios | Tendencias Mundiales | Fuentes de Energía |
| Destilación Solar | - | 28 US$/m³ | Estático – Creciente | Solar |
| Evaporación de múltiples etapas (MSF) | De 5 a 8 kwh/m³ | 1,10 US$/m³ | Decreciente | Eléctrica/Calórica |
| Destilación de Múltiple Efecto (MED) | De 3 a 4 kwh/m³ | 1,5 US$/m³ | Decreciente | Eléctrica/Calórica |
| Compresión Mecánica de Vapor | De 9 a 12 kwh/m³ | 1,5 US$/m³ | Decreciente | Eléctrica/Calórica |
| Micro, Ultra y Nano Filtración | De 1 a 3 kwh/m³ | 0,4 - 1,5 US$/m³ | Crecimiento | Eléctrica |
| Electrodiálisis | De 16 a 19 kwh/m³ | 58 US$/m³ | Estático | Eléctrica |
| Osmosis Inversa | De 2 a 2,8 kwh/m³ | 0,4 - 1,5 US$/m³ | Crecimiento | Eléctrica |

Nota: Moneda año 2001

Fuente: Adaptado de "Análisis de los Procesos Para Desalinización de Agua de Mar Aplicando la Inteligencia Competitiva y Tecnológica", y "El Impacto Social y Económico de la Desalación de Agua de Mar".

## FIGURA 7.8.1.6-1
## COMPARACIÓN SUPERFICIES REQUERIDAS PARA INSTALACIÓN PLANTAS DE DESALACIÓN


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de comparar las tecnologías principales, en el documento " Análisis de los Procesos Para Desalinización de Agua de Mar Aplicando la Inteligencia Competitiva y Tecnológica" se presenta un análisis FODA, el cual fue adaptado y simplificado y se presenta en el Cuadro 10.8.1.6-2. En este Cuadro, se muestra claramente que las tecnologías termales están en retroceso frente a las tecnologías de membranas. Por otra parte, osmosis inversa es la tecnología de mayor aplicabilidad ya que resuelve problemas de mayor envergadura, especialmente porque el avance tecnológico de esta tecnología la está haciendo cada vez más rentable y económica.

**CUADRO 7.8.1.6-2**
**ANÁLISIS FODA ENTRE PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN**

| Procesos | Fuerzas | Oportunidades | Debilidades | Amenazas |
|---|---|---|---|---|
| **Destilación Solar** | Se vale de la energía solar para calentar el agua salada.<br><br>Captura el vapor del agua condesado como agua pura. | Tiene gran potencial para proyectos pequeños en lugares con condiciones favorecedoras. | Es aplicable principalmente a proyectos de menor escala debido a su simplicidad e independencia.<br><br>Tiene altos costos de operación. | Los factores climáticos pueden influir en el desempeño del proceso. |

## CUADRO 7.8.1.6-2
## ANÁLISIS FODA ENTRE PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN

| Procesos | Fuerzas | Oportunidades | Debilidades | Amenazas |
|---|---|---|---|---|
| **Evaporación de múltiples etapas (MSF)** | Aplicable a proyectos de mediana o grande escala | Puede utilizar energías alternas, y | El mantenimiento costoso de maquinaria.<br><br>Genera muchos residuos con alto contenido mineral, los cuales requieren un manejo especial.<br>Consume gran cantidad de energía<br>Emiten $C0_2$ | El crecimiento de los procesos por ósmosis inversa. |
| **Destilación de Múltiple Efecto (MED)** | | | | |
| **Compresión Mecánica de Vapor** | | | | |
| **Micro, Ultra y Nano Filtración** | Es aplicable a proyectos de mediana o grande escala.<br><br>Maneja a base de membranas para separar las sales. | Puede utilizar diferentes fuentes de energía eléctrica (combustibles fósiles o renovables como solar o eólica). | El agua empleada usualmente necesita ser pre tratada para remover inicialmente las partículas contaminantes y prolongar la vida de la membrana<br>El desecho de la salmuera debe ser tratado con mucho cuidado para no impactar nocivamente el ambiente. | El crecimiento de los procesos por ósmosis inversa. |
| **Electrodiálisis** | | | | |
| **Osmosis Inversa** | Es aplicable a proyectos de mediana o grande escala.<br><br>Este proceso puede hacer uso de prácticamente cualquier tipo de agua sin importar su origen. | Buscar alternativas para mejorar los materiales de las membranas que eficienten su limpieza pues el proceso es muy dependiente de ellas. | El único factor complicado es encontrar o producir un suministro limpio que minimice la limpieza frecuente de la membrana.<br>El agua empleada usualmente necesita ser pre tratada para remover inicialmente las partículas contaminantes y | |


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 7.8.1.6-2**
**ANÁLISIS FODA ENTRE PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN**

| Procesos | Fuerzas | Oportunidades | Debilidades | Amenazas |
|---|---|---|---|---|
| | Permite remover con cierta sencillez contaminantes orgánicos e inorgánicos. | | prolongar la vida de la membrana<br>El desecho de la salmuera debe ser tratado con mucho cuidado para no impactar nocivamente el ambiente. | |

Fuente: Adaptado de "Análisis de los Procesos Para Desalinización de Agua de Mar Aplicando la Inteligencia Competitiva y Tecnológica", en conjunto con "El Impacto Social y Económico de la Desalación de Agua de Mar".

Por último, en el Cuadro 10.8.1.6-3 se muestra un resumen con los principales elementos que permiten definir el costo del tratamiento del agua. La última fila del cuadro muestra el costo combinado del tratamiento, el que muestra que en general osmosis inversa tiene un costo menor. Se hace notar en todo caso, que el costo real del tratamiento es función de las características del agua cruda, y del volumen a tratar, por lo que no es posible definir a priori que tecnología es mejor. En todo caso, tal como lo muestra el análisis FODA, osmosis inversa permite tratar un rango más amplio de agua cruda, por lo que se acomoda fácilmente a las variaciones en el agua cruda, especialmente después de las crecidas que movilizan gran cantidad de contaminantes, cambiando en poco tiempo la calidad del agua cruda.

**CUADRO 7.8.1.6-3**
**ANÁLISIS DE COSTO TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN**

| Parámetro | MSF | MED | MVC | RO |
|---|---|---|---|---|
| **Costes de instalación (€/m³/día)** | 1.080-1.690 | 780-1.080 | 1.020-1.500 | 660-1.200 |
| **Consumo energético (MJ/m³)$_b$** | 194-291 | 145-194 | 0 | 0 |
| **Consumo electricidad (kWh/m³)** | 3,5-4,0 | 1,5-2,0 | 9-11 | 3,0-4,5 |
| **Operación y mantenimiento (€/m³)** | 0,05-0,07 | 0,04-0,07 | 0,05-0,08 | 0,05-0,10 |
| **Recambios y prod. químicos (€/m³)** | 0,02-0,04 | 0,02-0,03 | 0,02-0,04 | 0,02-0,05 |
| **Reemplazo de membranas (€/m³)** | 0 | 0 | 0 | 0,01-0,04 |
| **Costo Producción Combinado (€/m³)** | 1,0-1,2 | 1,0-1,1 | 1,2-1,4 | 0,8-0,9 |

Nota: Moneda año 2001

Fuente: Adaptado de http://www.psa.es/webeng/aquasol/files/Congresos/Alarcon%20-%20Congreso%20Iberico%20(04.11.2002).pdf.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## 7.8.2. Análisis del Tratamiento de las Aguas de la Quebrada de Aroma

En esta sección se presentan los lineamientos básicos para el diseño de un sistema para el tratamiento del agua para ser usada para riego. La primera consideración básica es que el objetivo del tratamiento no es el tradicional, que es obtener agua de calidad potable, sino obtener agua con contenidos de salinidad menores a 2.100 µS/cm, por seguridad no pasar de 2.000 100 µS/cm. Tal como se indicó en el volumen agronómico, al disponerse con agua de esta nueva calidad los rendimientos de los cultivos aumentan, aumentando el ingreso agropecuario.

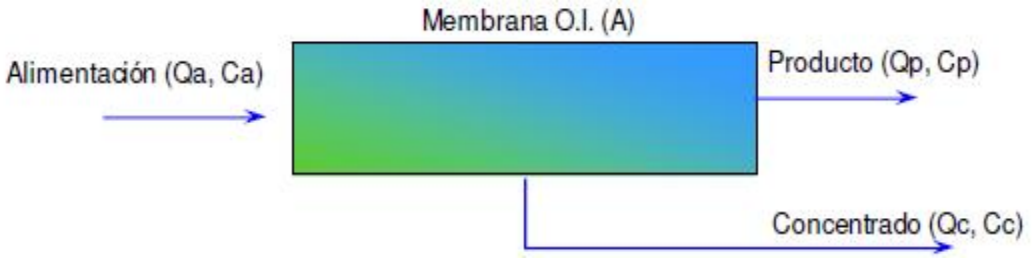
De acuerdo a las condiciones de la zona y los métodos disponibles, los métodos más apropiados de tratamiento son el de tipo solar, por destilación, y la osmosis inversa, o algún tipo de filtración avanzada.

### 7.8.2.1. Análisis de Tipos de Tratamiento

En primer lugar, para considerar destilación se debe determinar el caudal a tratar, el que de acuerdo al modelo de simulación es variable con el volumen de embalse a considerar, pero que para el tamaño mayor alcanza a 404,7 L/s, requiriéndose al menos 23,3 ha de superficie. Por otra parte, el tratamiento de este caudal de agua. En forma preliminar, se estima que el tratamiento genera al menos 0,5 cm de sedimento diario, lo que es equivalente a 1.200 $m^3$ de desperdicios diarios como valor máximo, con un promedio de 720 $m^3$. En términos simples, al considerar camiones de 10 $m^3$ de capacidad, significa disponer en forma diaria de 72 viajes en promedio hasta 120 viajes. El costo de estos viajes es muy alto, por lo que se propone descartar este tipo de tratamiento, ya que es más adecuado para un nivel de tratamiento intrapredial.

Un segundo tipo de tratamiento corresponde a un tratamiento de membrana, como es la osmosis inversa. En la Figura 10.8.2.1-1 se muestra en forma genérica el tratamiento de membrana, por ejemplo, OI. Se observa que ingresa un agua con una calidad dada, teniéndose un producto de mejor calidad, con un residuo que contiene las sales concentradas. Esto se muestra en la Figura 10.8.2.1-1. Se hace notar que este esquema de funcionamiento también es válido para otros sistemas de filtración.

**FIGURA 7.8.2.1-1**
**ESQUEMA BÁSICO SISTEMAS DE OSMOSIS INVERSA**





Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fuente: BEFESA Aguas, S.A.U.

Tal como se indicó anteriormente, la calidad objetivo no es un agua potable sino que un agua con un alto contenido de sales, en que las sales bajan desde 5.540 µS/cm a 2.000 µS/cm, lo que es equivalente a 64 %. Por esta razón, se adopta en forma optimista que el concentrado alcanza a un 10% del caudal efluente. Tal como se indicó en el acápite anterior, el caudal total a tratar es de 404,7 L/s como máximo, produciéndose un caudal de 364,2 L/s, rechazándose 40,5 L/s. En este caso, el agua concentrada se dispone en la quebrada, por lo que no se requiere una disposición especial.

Por otra parte, se identificaron los principales contaminantes presentes en el agua de la quebrada los que se presentan en el Cuadro 10.8.2.1-1. En el cuadro se muestra la concentración en mg/L y mol/L, esto se hace ya que la concentración en mol/L es aditiva.

**CUADRO 7.8.2.1-1**
**ESQUEMA BÁSICO SISTEMAS DE OSMOSIS INVERSA**

| Contaminante | Concentración | |
|---|---|---|
| | (mg/L) | (mol/L) |
| Arsénico | 2,92 | 0,0000390 |
| Boro | 61,60 | 0,0057037 |
| Cloruros | 1095,00 | 0,0308451 |
| Fluoruro | 4,08 | 0,0002147 |
| Litio | 4,04 | 0,0005855 |
| Sulfatos | 456,00 | 0,0047500 |
| Total | - | 0,0421380 |

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, tal como se indicó anteriormente, se requiere que la conductividad disminuya en un 64%, porcentaje que se aplica a los contaminantes, se tiene que la concentración debe descender en **0,026968316 mol/L.** Este valor es importante, ya que se usa para determinar la presión osmótica (π) necesaria para operar el sistema. Esta presión está dada por:

$\pi = k\ C\ T$

Con:

K: Constante gases ideales (0,082 atm L/mol/K)

C: concentración a disminuir (mol/L)

T: Temperatura del agua en K (298 para agua a 25 °C)

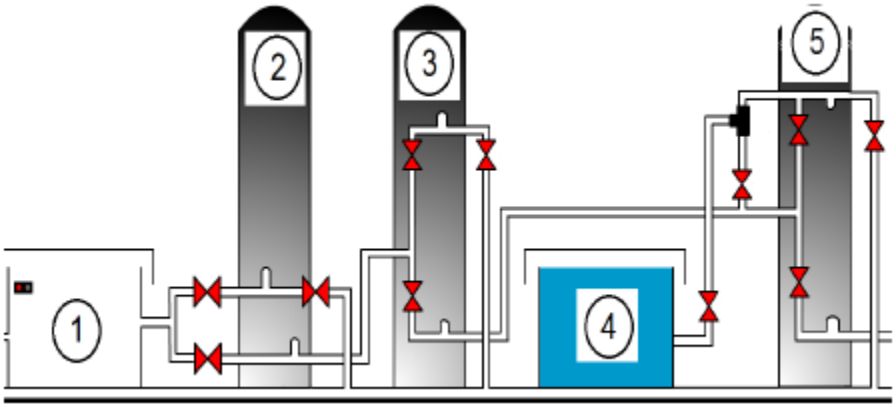
De esta manera la presión osmótica necesaria es igual a 0,66 atm. A modo de ejemplo, si se quiere llevar el agua a nivel potable, se debe aplicar una presión de 1,02 atm. Se ha ce notar que para generar esas presiones de trabajo en forma permanente se requieren altos montos de energía., los que se incrementan considerablemente al requerirse agua de calidad potable.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se hace notar que las plantas no se diseñan con una sóla unidad, sino que con múltiples unidades, las que pueden ser instaladas en serie o en paralelo. La disposición en serie o secuencial se usa cuando se requiere agua de buena calidad, la que se obtiene mejorando la calidad del agua en etapas. En este caso, ya que lo que interesa es un alto volumen, pero con una calidad no muy buena, lo más aconsejable es un sistema secuencial. Considerando sistemas tratando no más de 5 L/s, se requieren en total 81 sistemas de tratamiento en paralelo.

Otro elemento a considerar es que en general el sistema se compone de un pre-tratamiento el que se encarga de eliminar los elementos de mayor tamaño. A modo de ejemplo se muestra en la Figura 10.8.2.1-2 un posible esquema de pre-tratamiento. En esta figura se distinguen 5 elementos sucesivos: (1) tanque de almacenamiento, (2) filtro de arena, (3) filtro de carbón activado, (4) salmuera), y (5) suavizador.

**FIGURA 7.8.2.1-2**
**ESQUEMA ELEMENTOS DE PRE-TRATAMIENTO**




Fuente: Diseño de Planta de Tratamiento de Agua de Osmosis Inversa para la Empresa Dober Osmotech de Colombia Ltda. José Alberto Moreno Benavides (2011)

## *7.9. Evaluación anteproyecto de caminos*

### 7.9.1. Generalidades

La construcción del embalse obligaría a modificar los trazados de los caminos presentes en el sector de la presa y área de inundación y a construir caminos de acceso hasta las obras de muro.

Con el fin de cuantificar, en la elección de las 3 alternativas que se analizarán en etapas posteriores, dichas modificaciones, se han trazado las variantes de camino para cada una de las alternativas analizadas.

### 7.9.2. Descripción del Anteproyecto de Camino

En los diseño, se considerará el sistema de clasificación para caminos del Manual de Carreteras. Volumen 3. (MCV3) Capítulo 3.103.2, de acuerdo a la tabla 3.103.201-A.

En este caso, se tiene que el tipo de caminos considerados clasifican en la categoría de Desarrollo lo que permite velocidades de entre 30 y 50 km/h en el proyecto, de acuerdo con el Cuadro 10.9.2-1.

En el MCV3 además, se describe la clasificación de los caminos de acuerdo al terreno en donde se emplazarán y a las velocidades consideradas en el proyecto. Las velocidades de proyecto, Vp, más altas corresponden a trazados en terrenos llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terrenos montañosos o cuyo entorno presenta limitaciones severas para el trazado.

En este caso se puede considerar que el terreno en el que se encuentra este proyecto clasifica de acuerdo a lo descrito en el Capítulo 3.103.2 de este manual como Terreno Ondulado

El trazado de las variantes está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota que, si bien no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido las cuales pueden fluctuar entre 1 y 6%. Cabe destacar que aunque la mayoría del trazado presenta pendientes en el rango descrito, existen tramos con pendientes cercanas al 10%.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**CUADRO 7.9.2-1**
**CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO DE CARRETERAS Y CAMINOS RURALES**

| Categoría | Sección Transversal | | Velocidades de Proyecto (km/h) | Código Tipo |
|---|---|---|---|---|
| | Nº Pistas | Nº Calzadas | | |
| Autopista | 4 ó + UD | 2 | 120-100-80 | A(n)-xx |
| Autorruta | 4 ó + UD | 2 | 100-90-80 | AR(n)-xx |
| Primario | 4 ó + UD | 2 (1) | 100-90-80 | P(n)-xx |
| | 2 BD | 1 | 100-90-80 | P(2)-xx |
| Colector | 4 ó + UD | 2 (1) | 80-70-60 | C(n)-xx |
| | 2 BD | 1 | 80-70-60 | C(2)-xx |
| Local | 2 BD | 1 | 70-60-50-40 | L(2)-xx |
| Desarrollo | 2 BD | 1 | 50-40-30* | D-xx |

- UD: Unidireccionales
- BD: Bidireccionales
- (n) Número Total de Pistas
- xx Velocidad de Proyecto (km/h)

*Menor que 30 km/h en sectores puntuales conflictivos

Fuente: MCV3

## 7.9.2.1. Parámetros de Diseño

Los parámetros básicos para el diseño del camino, tanto en lo referente al trazado en planta, así como en alzado serán tomados como referencia desde la tabla 3.201.5.A del MCV3, la cual se reproduce en el Cuadro 10.9.2.1-1.
Se considera que los caminos serán de Desarrollo, de acuerdo al Manual de Carreteras, con una velocidad media de proyecto de 30 km/h. Se aplicarán los siguientes parámetros mínimos para su Proyección.

Distancia de parada: 25 m

Distancia de adelantamiento: 180 m

Radio mínimo en curva: 25 m

Pendiente Máxima: 12%

Los diseños geométricos están calculados para una velocidad de diseño de 30 km/h restringida por curvas y pendientes muy altas. Las rasantes se han proyectado teniendo presente, tanto el espacio de la faja existente en algunos tramos, así como el ancho de calzada existente en el camino afectado. Con estos datos se proyectaron los caminos con un ancho de calzada de 5,0 m y taludes de corte y terraplén de 1/1.

## CUADRO 7.9.2.1-1
## PARÁMETROS DE DISEÑO DE CAMINOS ALTERNATIVOS

| Categoría Carreteras y Caminos | | | Desarrollo | Locales | | Colectores | | Primarios/Autorrutas | | Autopistas | | | | REF. 3.100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Velocidad de Proyecto | | Vp (km/h) | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | (110) | 120 | (130) | 3.103/3.201.301 |
| Visib. | Distancia de Parada i=0% | Dp (m) | 25 | 38 | 52 | 70 | 90 | 115 | 145 | 175 | 210 | 250 | 300 | 3.202.2 |
| | Distancia de Adelantamiento (1) | Da (m) | 180 | 240 | 300 | 370 | 440 | 500 | 550 | 600 | 650 | (1) | (1) | 3.202.3 |
| Planta | Alineaciones Rectas | Lr(m) | Lr = \| 20 Vp Km/h \| Para todo V.; Lr mínimo 3.203.203 | | | | | | | | | | | 3.203.2 |
| | Radio Mínimo en Curva | Rm (m) | 25 | 50 | 80 | 120 | 180 | 250 | 330 | 425 | 540 | 700 | 900 | 3.203.302 |
| | Radio Mínimo en Curva al final recta: 400 m < Lr ≤ 600 m | R'm (m) | R' min ≥ Rm (V+10) | | | | | | | | | R' min ≥ Rm (V+5) | | 3.201.301 (2) |
| | Radio Mínimo en Curva al final recta: Lr ≥ 600 m | R'm (m) | R' min ≥ Rm (V+20) | | | | | | | R' min ≥ Rm (V+15) | | R' min ≥ Rm (V+10) | | 3.201.301 (2) |
| | Peralte Máximo | P (%) | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7/8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 3.203.302 |
| | Pendiente Relativa de Borde (2) | Δ (%) | 0,7 - 1,5 | | | 0,6 - 1,3 -(1,3) | | 0,5 - 0,9 -(0,9) | | 0,35 - 0,8 - (0,8) | | | (0,8) | 3.203.305 (3) |
| | Desarrollo Mín. ω = 9º y Rm | D (m) | - | 7 | 12 | 17 | 26 | 35 | 47 | 60 | 76 | 100 | 130 | 3.203.303 (4) |
| | Radio lím. Contra Peralte (3) | RL (m) | - | - | - | > 3500 | | | > 7500 | | | | | 3.203.303 (3) |
| | Parámetro Mín. Clotoide; R=Rmín. | A (m) (4) | - | 29 | 37 | 48/68 | 60/83 | 83/125 | 110/144 | 142/173 | 190/195 | -/234 | -/305 | 3.203.403 (1) |
| | Cond. Adicionales A | - | Por desarrollo Peralte - Por Longitud L máx.< 1,5 L mín. - Siempre A < R | | | | | | | | | | | 3.203.403 |
| Alzado | Pendiente Máxima (5) | i (%) | 10 - 12 | 10 - 9 | 9 | 8 | 8 | 8 - 6 - 5 | 5 | 4,5 | - | 4 | 4 | 3.204.301 |
| | Curva Vertical Convexa (V*=Vp) | Kv (m) | 300 | 400 | 700 | 1200 | 1800 | 300 | 4700 | 6850 | 9850 | 14000 | 16000 | 3.204.301 (1) |
| | Curva Vertical Cóncava (Vp) | Kc (m) | 400 | 600 | 1000 | 1400 | 1900 | 2600 | 3400 | 4200 | 5200 | 6300 | 6300 | 3.204.301 (2) |
| | Curva Vertical Cóncava (Ilum. Artif.) | Kci (m) | 250 | 400 | 650 | 950 | 1300 | 1700 | 2100 | 2600 | 3200 | 3700 | 3700 | 3.204.301 (3) |


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C. Vertical Convexa x. Adelant. (6) | Ka (m) | 3500 | 6300 | 9800 | 14900 | 21000 | 27200 | 33900 | 39100 | 45900 | - | - | 3.204.405 |
| | Long. Mín. Curva Vertical | 2T (m) | En general 2T min. ≥ V (km/h); Si 2T mín. Controla K min. = Vφ - Salvo casos 3.204.406 | | | | | | | | | | | 3.204.404 |

(1) Distancia Visibilidad adelantamiento requerida sólo en caminos Bidireccionales - No corresponde para V > 100 KPH. Salvo (110) si Vp = 100 y se trata de una pendiente > 6%

(2) Valores de ∆ Normal y Máximo, en () Máximo para n > 1

(3) Para Radios Límite en Contraperalte en Tramos Singulares. Ver Tabla 3.203.303 (3) A

(4) Primer Valor Calzada Bidireccional / Segundo, Calzada Unidireccional-Ambas consideran Jmáx y ∆máx. Para R >Rmín. Ver Lámina 3.203.403 (1) A

(5) Pendiente Máxima hasta 2500 m.s.n.m. - Mayor valor corresponde a Menor Categoría de Carretera.

(6) Considerar sólo en caminos Bidireccionales - No corresponde para V > 100 KPH.

Vp (110) y (130) No corresponden a una Velocidad de Proyecto de las Categorías - Se dan relación con la V85% ó V* de un cierto tramo. Para (130) Kv indicado corresponde a V* = Vp+10.

Fuente: MCV3



Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 7.9.2.2. Diseño de Contrafoso

En este caso no se proyectó contrafoso ya que en la zona rara vez se presentan lluvias.

### 7.9.3. Trazados de Variantes de Caminos

A continuación se indican las variantes proyectadas de los caminos existentes en la zona de embalse.

En las alternativas ALT1, ALT2 y ALT3, se ha realizado una variante para la reposición de la ruta A-459, que quedaría sumergida por las aguas. Además se han proyectado los accesos al pie de las presas proyectadas. Las longitudes de los caminos proyectados para cada tamaño de embalse analizado se indican en el Cuadro 10.9.3-1.

**CUADRO 7.9.3-1**
**LONGITUD VARIANTE DE CAMINO Y CAMINO DE ACCESO AL MURO**

| DESCRIPCIÓN | Volumen Útil ($m^3$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| **Alternativa de sitio de muro ALT1** | | | | | |
| Variantes de Camino (m) | 563 | 1.563 | 1.975 | 2.167 | 2.378 |
| Camino de Acceso (m) | 1.252 | 1.252 | 1.252 | 1.252 | 1.252 |
| **Alternativa de sitio de muro ALT2** | | | | | |
| Variantes de Camino (m) | 0 | 967 | 1.689 | 2.100 | 2.345 |
| Camino de Acceso (m) | 1.576 | 1.576 | 1.576 | 1.576 | 1.576 |
| **Alternativa de sitio de muro ALT3** | | | | | |
| Variantes de Camino (m) | 0 | 547 | 1.688 | 1.971 | 2.094 |
| Camino de Acceso (m) | 1.830 | 1.830 | 1.830 | 1.830 | 1.830 |

Fuente: Elaboración propia.

A modo de ejemplo, en los planos CAM-PTN-1 a CAM-PTN-8, se presentan los prediseños de los caminos proyectados, variante y acceso, para el sitio de muro ALT1 considerando un volumen útil de 9 $hm^3$. Para el resto de las alternativas se realizó la cubicación de los trazados respetando los criterios de diseños indicados en los acápites anteriores.

## *7.10. Diseño de sistema de aforo remoto de caudales*

En este acápite se diseñará una red de aforadores y se evaluará también la posibilidad de instalar un sistema de telemetría para estas obras, para poder consultar los caudales y su funcionamiento desde internet.

Se diseñará un aforador para la estación de control del río, para la toma de la conducción ARI-CU y también a cada una de las bocatomas de los canales de riego del sector 1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El aforador de la estación de control, y de la bocatoma de la conducción ARI-CU, serán de sección rectangular en hormigón armado, ya que esta estructura deberá soportar grandes caudales de crecidas. Los aforadores de los canales de riego serán construidos con una barrera y una sección triangular, ya que se ha demostrado que estos aforadores funcionan mejor para caudales pequeños.
Los cálculos hidráulicos realizados para el diseño se encuentran en el Anexo 10-5. En el Anexo 10-6 se encuentra el archivo kml con la ubicación geográfica de estas obras.

### 7.10.1. Diseño Preliminar

## 7.10.1.1. Aforador Estación de Control

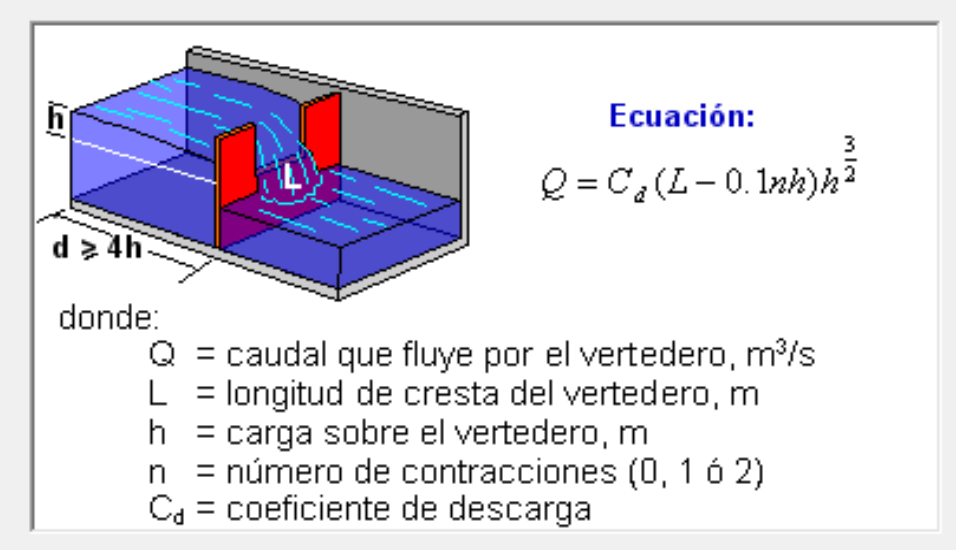
Utilizando el programa HCanales se ha diseñado el aforador de la estación de control, siguiendo los siguientes criterios de diseño:

- Se ha determinado una sección rectangular ya que facilitará su construcción en terreno.
- El caudal de diseño será de 2 $m^3/s$
- La medición de la altura será aguas arriba de la grada y por sobre esta. En el esquema se podrá ver esto más detalladamente. Figura 10.10.1.1-2
- Se ha determinado utilizar un vertedero de cresta ancha para el aforador.

Los vertederos rectangulares se comportan de la siguiente forma como lo indica la Figura 10.10.1.1-1. El coeficiente "n" se refiere a las contracciones que tendrá el aforador. Para el diseño de esta estación no se considerará contracciones, de modo que $n = 0$.

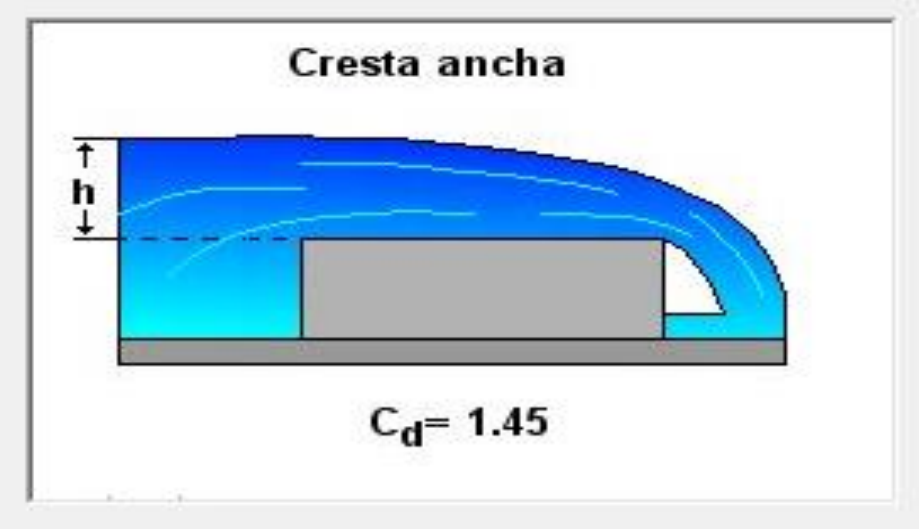

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.10.1-1**
**ECUACIONES DE AFORADOR RECTANGULAR**




Fuente: Elaboración Propia a partir de HCanales

**FIGURA 7.10.1-2**
**CARACTERÍSTICAS DEL AFORADOR DE CRESTA ANCHA**




Fuente: Elaboración Propia a partir de HCanales


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En la Figura 10.10.1.1-2 se puede ver que el coeficiente de descarga para estas estructuras es de $Cd = 1{,}45$. También se puede apreciar que la altura "h" es la altura de aguas sobre la grada. La grada tendrá una altura de 30 cm.
Utilizando esta metodología de diseño, y las características indicadas en el Cuadro 10.10.1.1-1, se puede obtener la curva de descarga del aforador con solo medir la altura del agua sobre la grada, aguas arriba de ésta. En el Cuadro 10.10.1.1-2 se puede ver esta curva y en la Figura 10.10.1.1-3 su gráfico.

**CUADRO 7.10.1-1**
**CARACETRISTICAS AFORADOR ESTACION DE CONTROL**

| Aforador | Norte (m) | Este (m) | Cd | L (m) | n | $h_g$ (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Estación de Control | 7.833.107 | 458.277 | 1,45 | 1,5 | 0,00 | 0,3 |

$h_g$: altura de la grada en metros
Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO 7.10.1-2**
**CURVA DE DESCARGA AFORADOR ESTACION DE CONTROL**

| Altura agua sobre la grada (m) | Q (l/s) |
|---|---|
| 0,00 | 0 |
| 0,05 | 24 |
| 0,10 | 69 |
| 0,15 | 126 |
| 0,20 | 195 |
| 0,25 | 272 |
| 0,30 | 357 |
| 0,35 | 450 |
| 0,40 | 550 |
| 0,45 | 657 |
| 0,50 | 769 |
| 0,55 | 887 |
| 0,60 | 1.011 |
| 0,65 | 1.140 |
| 0,70 | 1.274 |
| 0,75 | 1.413 |
| 0,80 | 1.556 |
| 0,85 | 1.704 |
| 0,90 | 1.857 |


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

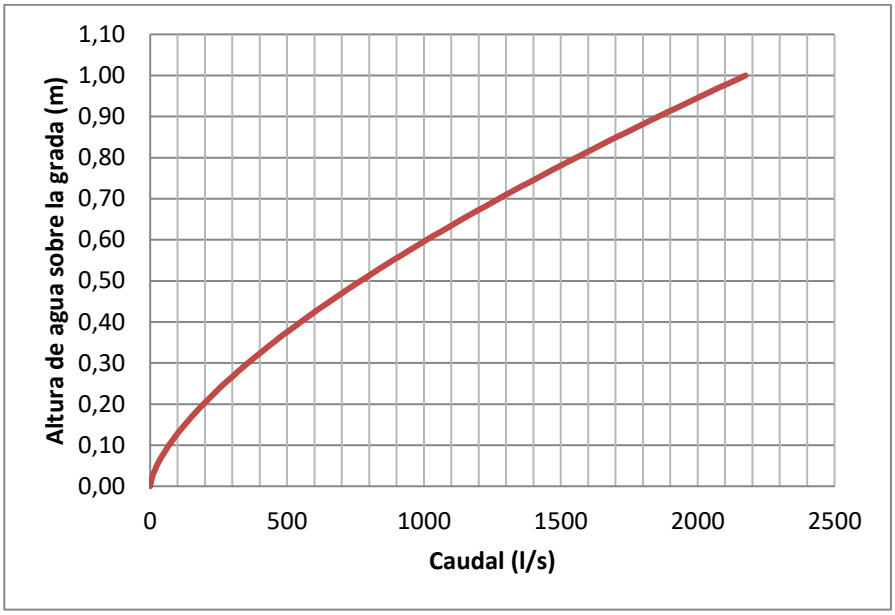
## CUADRO 7.10.1-2
## CURVA DE DESCARGA AFORADOR
## ESTACION DE CONTROL

| Altura agua sobre la grada (m) | Q (l/s) |
|---|---|
| 0,95 | 2.014 |
| 1,00 | 2.175 |

Fuente: Elaboración Propia


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.10.1-3**
**GRÁFICA DE DESCARGA ESTACION DE CONTROL**




Fuente: Elaboración Propia

## 7.10.1.2. Recomendación de Construcción

Para construir este aforador se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La estructura será construida con hormigón armado y con anclajes grandes y firmes, ya que el río presenta crecidas muy poderosas, que sin duda alguna, destruirán completamente el aforador, si es que éste no está construido con protecciones.

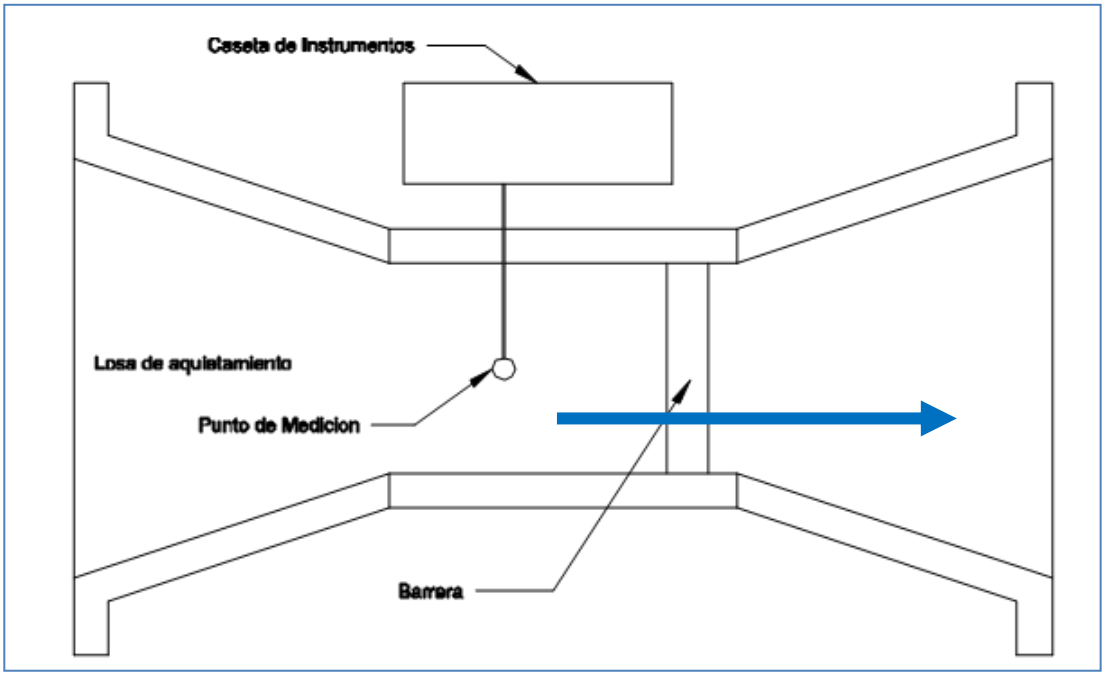
- El caudal del río debe ser desviado mediante ataguías en el proceso de construcción.

- Se utilizará malla ACMA C295 para las armaduras con un recubrimiento mínimo de 2,5 cm.

El esquema de construcción es el siguiente, indicado en las Figuras 10.10.1.2-1 a la 10.10.1.2-2.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

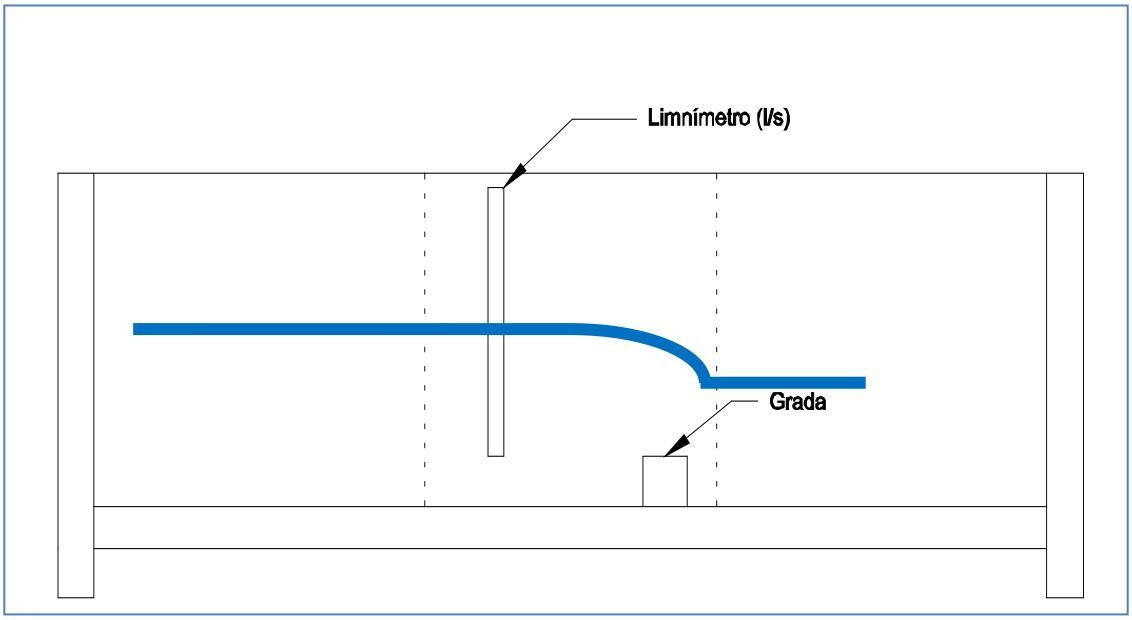
**FIGURA 7.10.1.2-1**
**PLANTA DE CONSTRUCCION AFORADOR**




Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 7.10.1.2-2**
**VISTA LONGITUDINAL AFORADOR**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Fuente: Elaboración Propia

## 7.10.1.3. Aforador Conducción Ariquilda-Curaña

Siguiendo la misma metodología y las características indicadas en el Cuadro 10.10.1.3-1, se construye la curva de descarga y grafico en el Cuadro 10.10.1.3-2 y Figura 10.10.1.3-1, respectivamente.

**CUADRO 7.10.1.3-1**
**CARACTERISTICAS AFORADOR CONDUCCIÓN ARI-CU**

| Aforador | Norte (m) | Este (m) | Cd | L | n |
|---|---|---|---|---|---|
| ARI-CU | 7.829.461 | 443.612 | 1,45 | 1,000 | 0,00 |

Fuente: Elaboración Propia

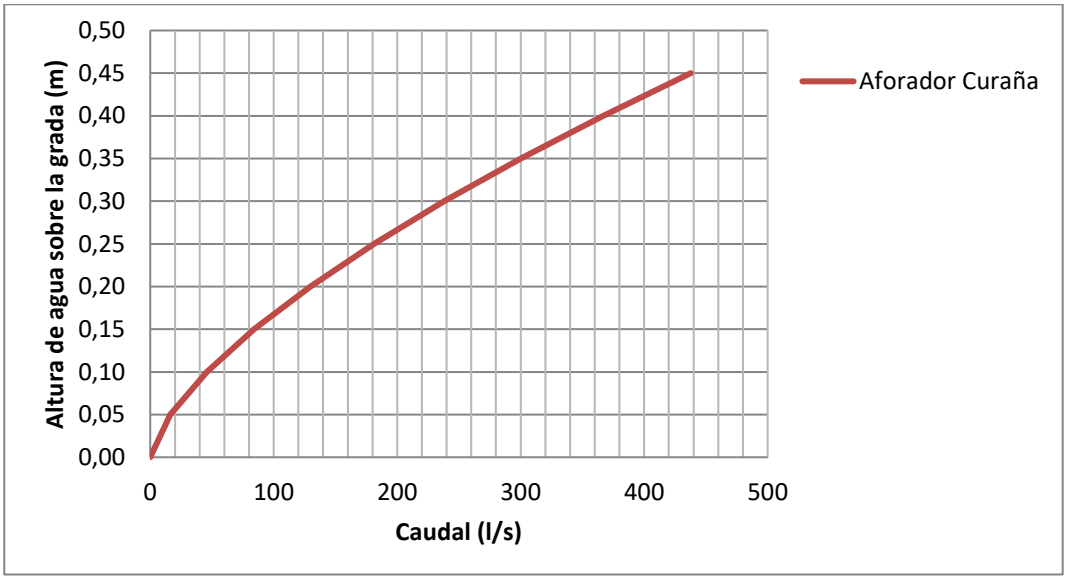
**CUADRO 7.10.1.3-2**
**CURVA DE DESCARGA AFORADOR CONDUCCIÓN ARI-CU**

| Altura agua sobre la grada (m) | Q (l/s) | Altura agua sobre la grada (m) | Q (l/s) |
|---|---|---|---|
| 0,00 | 0 | 0,25 | 181 |
| 0,05 | 16 | 0,30 | 238 |
| 0,10 | 46 | 0,35 | 300 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0,15 | 84 | 0,40 | 367 |
| 0,20 | 130 | 0,45 | 438 |

Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 7.10.1.3-1**
**GRÁFICA DE DESCARGA AFORADOR CONDUCCIÓN ARI-CU**



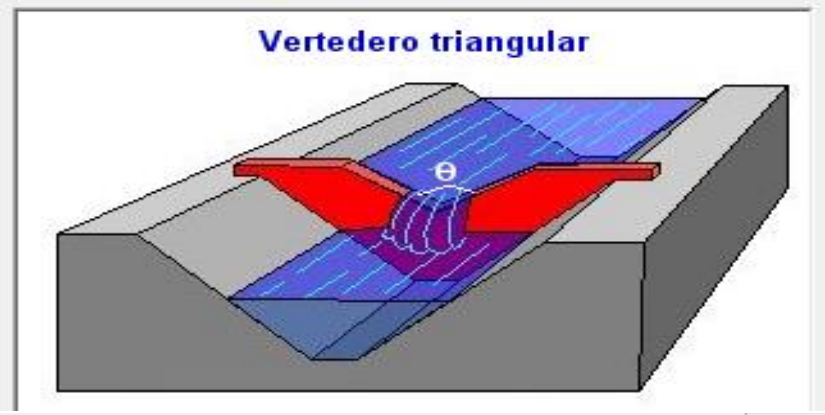

Fuente: Elaboración Propia

## 7.10.1.4. Aforadores Canales de Riego

Siguiendo la misma metodología que la expuesta anteriormente, se diseñará un aforador tipo para cada uno de los canales del proyecto. Como el caudal de diseño es pequeño se utilizará vertederos triangulares para medir.
Los vertederos triangulares se comportan de la siguiente forma, como lo indica la Figura 10.10.1.4-1.

**FIGURA 7.10.1.4-1**
**ESQUEMA DE UN VERTEDERO TRIANGULAR**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl




Ecuación: $Q = Cdh^{\frac{5}{2}}$

Valor del coeficiente de descarga Cd en función de ángulo θ

| Ángulo θ | 15° | 30° | 45° | 60° | 90° | 120° |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cd | 0.206 | 0.392 | 0.596 | 0.819 | 1.4 | 2.465 |
| Válido para h > | 0.15 | 0.205 | 0.185 | 0.17 | 0.14 | 0.12 |

Fuente: Elaboración Propia a partir de HCanales

Los criterios de diseño son los siguientes:

- Se utilizará un ángulo de abertura de la boca de 60º, ya que así se obtienen mejores resultados, con las condiciones que se tienen.

Con estos criterios de diseño y las condiciones indicadas en el Cuadro 10.10.1.4-1, se obtiene la curva de descarga indicadas en el Cuadro 10.10.1.4-2 y Figura 10.10.1.4-1.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

## CUADRO 7.10.1.4-1
## CARACETRISTICAS AFORADOR TIPO PARA CANALES

| Aforador | Norte (m) | Este(m) | Ancho basal (m) | Q (m³/s) | Angulo (º) | Cd |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pailca | 7.831.899 | 453.830 | 0,5 | 0,060 | 60 | 0,819 |
| Cala Cala 1 | 7.831.548 | 452.261 | 0,5 | 0,060 | 60 | 0,819 |
| Cala Cala 2 | 7.831.577 | 451.582 | 0,5 | 0,060 | 60 | 0,819 |
| Ariquilda 1 | 7.830.375 | 447.951 | 0,5 | 0,070 | 60 | 0,819 |
| Ariquilda 3 | 7.830.089 | 446.034 | 0,5 | 0,072 | 60 | 0,819 |
| Ariquilda 4 | 7.829.753 | 445.043 | 0,5 | 0,060 | 60 | 0,819 |

Fuente: Elaboración Propia

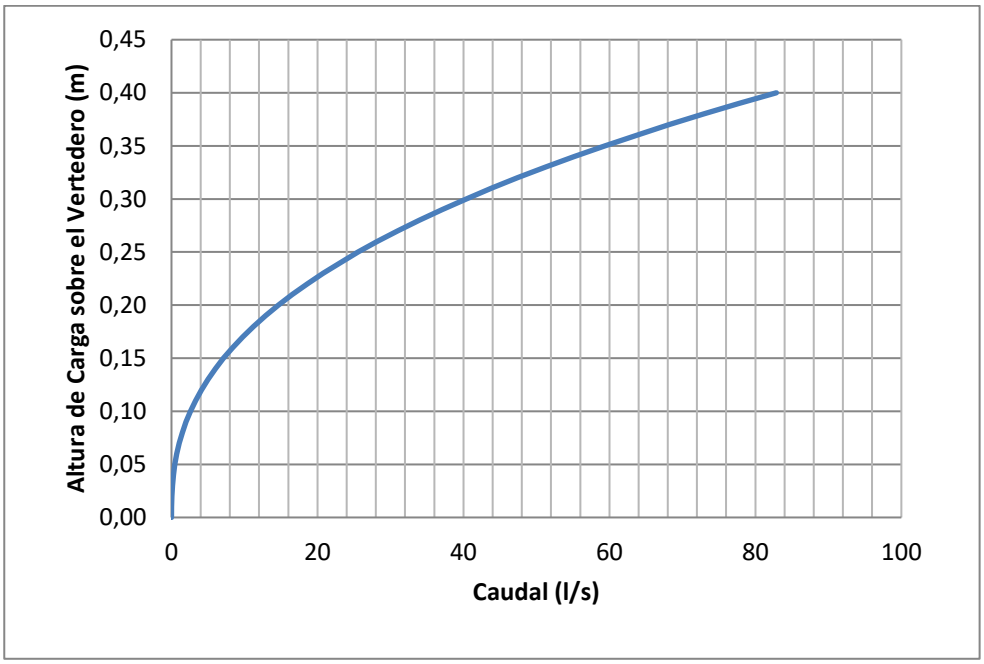
## CUADRO 7.10.1.4-2
## CURVA DE DESCARGA AFORADOR TIPO PARA CANALES

| Altura sobre el Vertedero (m) | Q (l/s) |
|---|---|
| 0,00 | 0 |
| 0,05 | 0 |
| 0,10 | 3 |
| 0,15 | 7 |
| 0,20 | 15 |
| 0,25 | 26 |
| 0,30 | 40 |
| 0,35 | 59 |
| 0,40 | 83 |

Fuente: Elaboración Propia


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

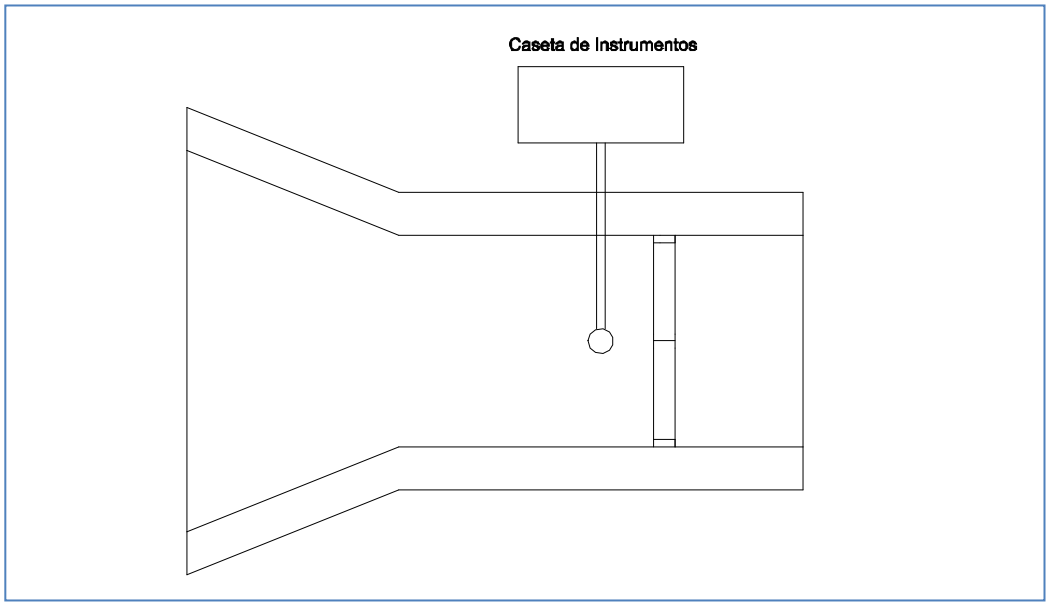
**FIGURA 7.10.1.4-2**
**GRÁFICA DE DESCARGA AFORADOR TIPO PARA CANALES**




Fuente: Elaboración Propia

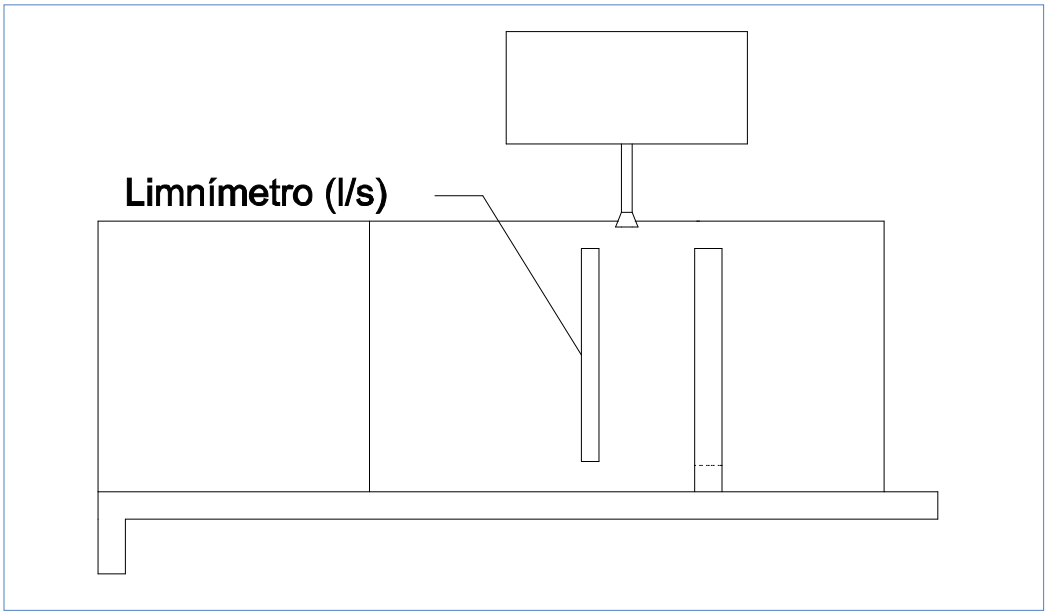
**FIGURA 7.10.1.4-3**
**VISTA EN PLANTA AFORADOR TRIANGULAR**


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl



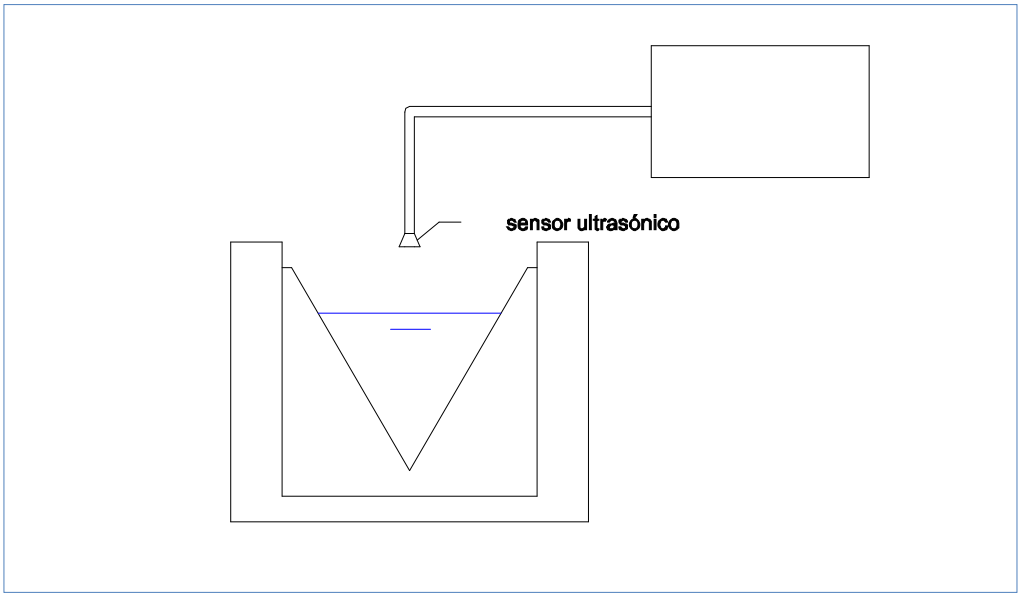

Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 7.10.1.4-4**
**VISTA LONGITUDINAL AFORADOR TRIANGULAR**




Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 7.10.1.4-5**
**VISTA TRANSVERSAL AFORADOR TRIANGULAR**




Fuente: Elaboración Propia

## 7.10.2. Sistema de Conexión Remoto.

## 7.10.2.1. Consideraciones Previas

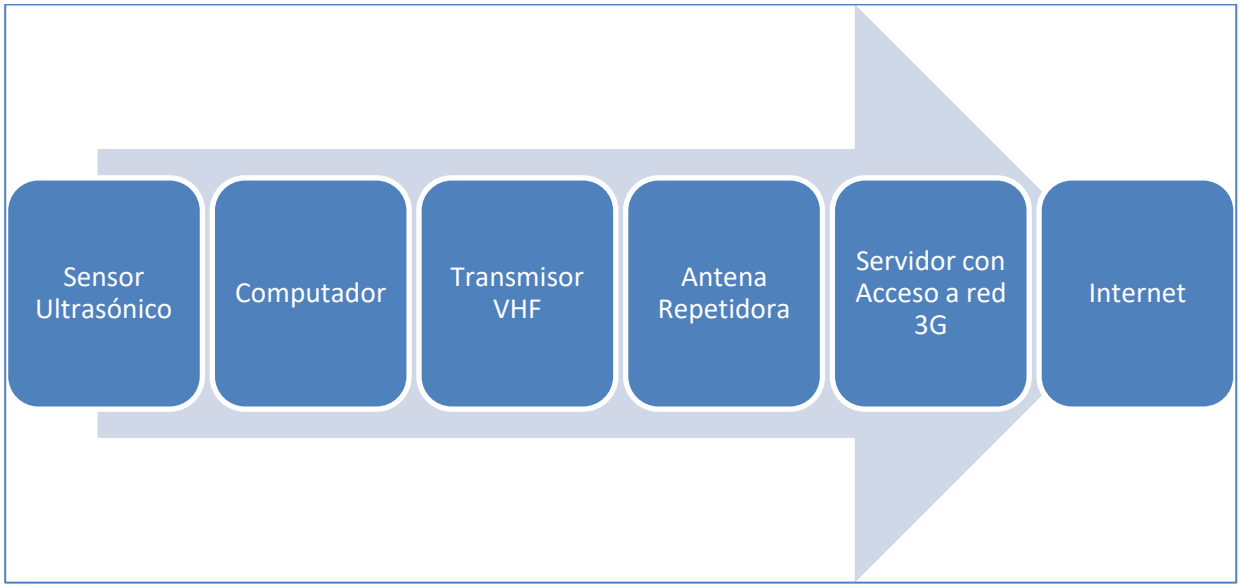
Para poder realizar este diseño será necesario tener en consideración lo siguiente:

- No existe una señal de 3G de celulares en toda la zona de riego, será necesario considerar una conexión por radio VHF a un concentrador.
- Debido a la sequedad del terreno (aire seco) la conexión de estas radiofrecuencias disminuye notablemente, es por esto que se necesitará una antena repetidora que retransmita los datos a otro servidor que tenga acceso a red 3G.
- El medidor ultrasónico se conectará a un computador que por medio del transmisor VHF se conectará a la antena repetidora.
- Debido a que los canales se encuentran en zonas donde no existen cables de electricidad se contará con la energía solar para el funcionamiento de los componentes eléctricos mediante paneles solares y baterías de ciclo profundo.
- La antena repetidora debe ser instalada en una zona de gran altura, de otro modo no podrá operar como corresponde y esta no re-transmitirá los datos.
- El sistema debe ser protegido completamente anti-robos, ya que existe un fuerte incremento en el robo de estos aparatos en Chile.


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El esquema de conexión es el indicado en la Figura 10.10.2.1-1 y Figura 10.10.2.1-2.

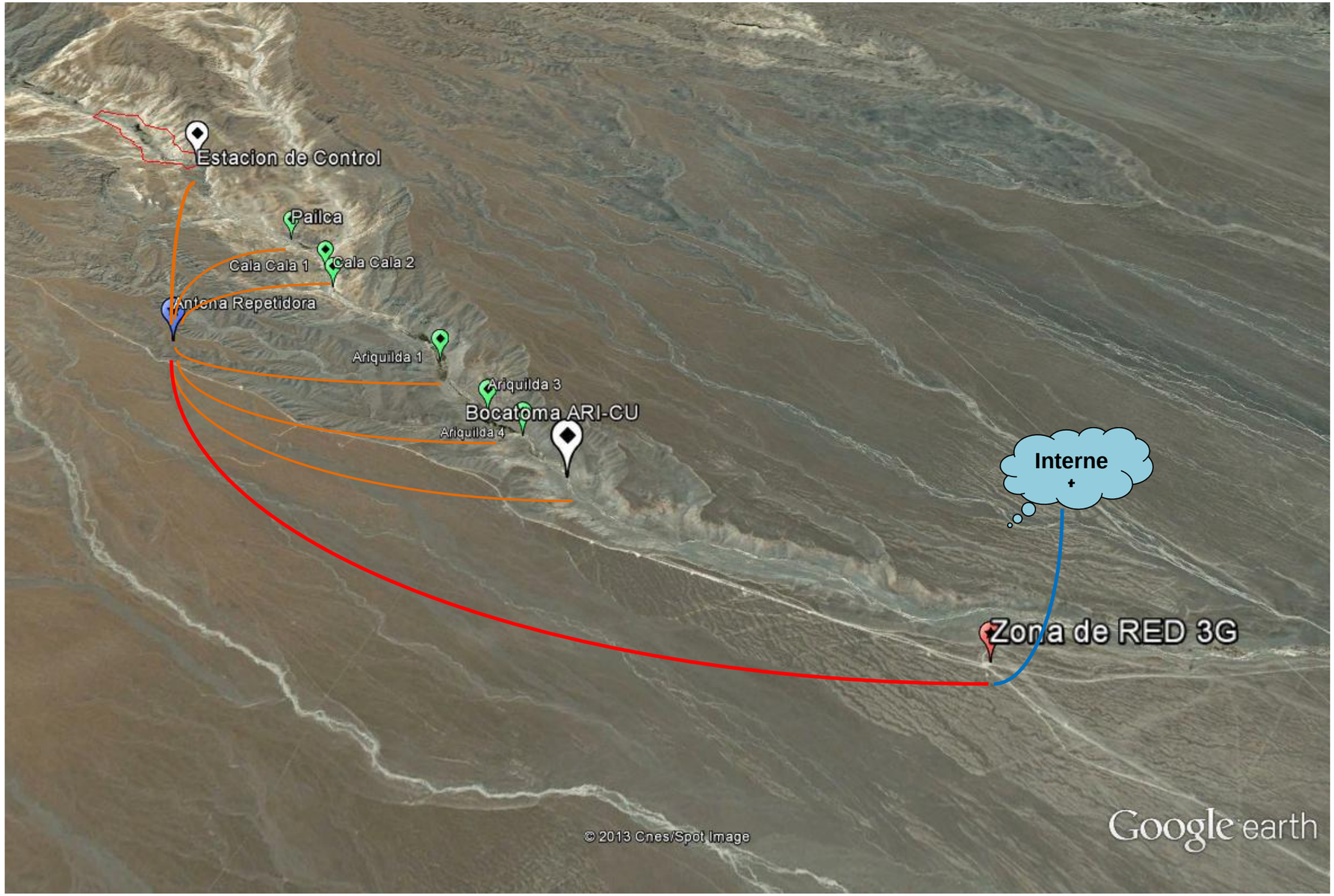
**FIGURA 7.10.2.1-1**
**ESQUEMA DE CONEXIÓN RED TELEMÉTRICA**




Fuente: Elaboración Propia


Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

**FIGURA 7.10.2.1-2**
**ESQUEMA DE UBICACIÓN Y OPERACIÓN RED TELEMÉTRICA**




Fuente: Elaboración Propia


Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

### 7.10.2.2. Sistema de Operación

El sistema de operación de esta red será automático, no se necesitarán mayores conocimientos para el uso, ya que el usuario podrá ingresar por medio de servidor http ó ftp, observar los caudales que están pasando en el preciso momento, así como también el historial de caudales atrás en el tiempo, en un intervalo que él disponga.

### 7.10.2.3. Mantenimiento

La red deberá ser mantenida una vez cada tres meses para verificar el estado de las baterías, paneles solares y otros instrumentos. Mantenimiento preventivo.
Es muy probable que se junten basuras en las canaletas donde están los sensores, si esto ocurre, se deberá la necesidad de limpiarlas de vez en cuando para que no interfiera con el resultado de los datos.

# 8. hidrogeneración

## *8.1. Introducción*

Como este estudio es de un embalse multipropósito en este capítulo se informará sobre las posibles alternativas de generación hidroeléctrica que tenga el embalse, para las distintas alternativas de muro. El análisis se hace considerando una minicentral al pie de la presa, ya que a priori se estima que la construcción de una central aguas abajo del embalse encarece el proyecto en demasía. Otro punto que se debe hacer notar es que para cada ubicación de embalse, se está analizando únicamente la MCH asociada el embalse de mayor tamaño, ya que es el que puede generar mayor hidroelectricidad.
Es importante indicar que en primer lugar se determina el tipo de turbina más apropiado y la potencia instalada posible. Posteriormente se analiza la generación bajo dos escenarios:

- Generación para riego: Se utilizan las entregas requeridas para el riego, las que se generar
- Generación para Energía: Se opera el embalse, de modo que entregue energía en la forma más pareja posible, sin importar los requerimientos para el riego.

## *8.2. Cálculo de Potencia Eléctrica Estimada*

En términos generales, la Potencia de generación, se calcula con la expresión siguiente:

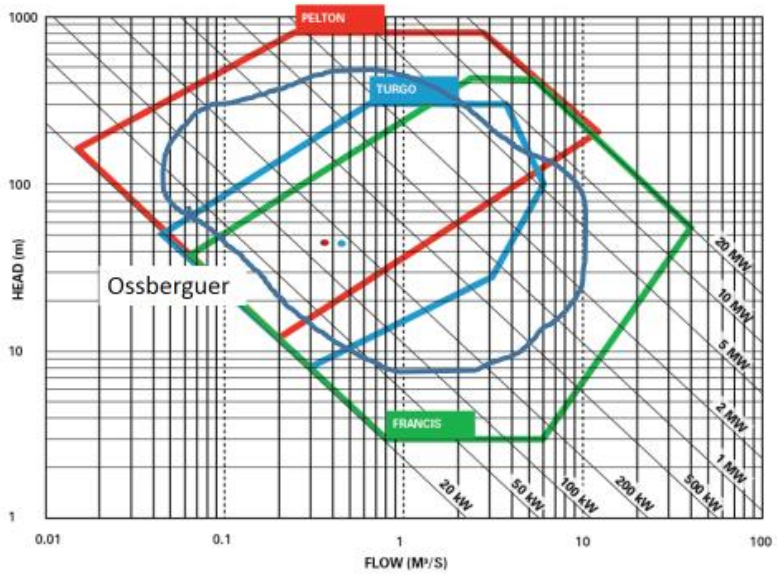
$$\mathbf{P = 9{,}81 \cdot Q_{diseño} \cdot H_{neta} \cdot \eta_{global}}$$

Donde:

$Q_{diseño}$ es el caudal de diseño ($m^3/s$)
$H_{neta}$ es la altura neta (altura bruta –pérdidas) (m)

$\eta_{global}$ es la eficiencia global (%)
La eficiencia global está dada por:
$\eta_{global} = \eta_{turbina}\,\eta_{generadorr}\,\eta_{transformador}$
En forma conservadora se adoptó como eficiencia del generador y del transformador un 95%.
La eficiencia de la turbina se obtiene de las curvas de los equipos, en función del caudal de generación. Para esto se debe determinar en primer lugar el tipo de turbina. Para esto se utiliza la Figura 11.2-1 en la que se muestran diferentes tipos de turbina y sus puntos de operación. La zona en la que se ubica la turbina corresponde a una turbina tipo Ossberguer. Para este tipo de turbinas, la eficiencia viene dada por la Figura 11.2-2.
Como el tramo de la tubería de entrega de agua, desde la torre de toma hasta la salida en la turbina es relativamente corto, se adoptó que las pérdidas de carga son de un 5% de la altura bruta.

**FIGURA 8.2-1**
**SELECCIÓN TIPO TURBINA**




Fuente: http://www.gilkes.com/user_uploads/main-range_chart.jpg

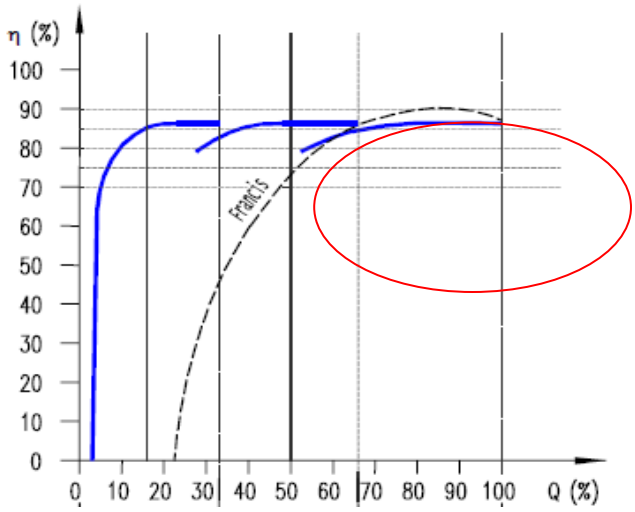
Con estas consideraciones, la Potencia de generación es la siguiente:
Para realizar el cálculo se utilizó el modelo de simulación operacional del valle con el cual se obtuvo la estadística de caudales medios mensuales turbinables al pie de la presa para todo el periodo de simulación. Se consideraron las siguientes condicionantes:

**a.** Las condiciones mínimas para generar corresponde a tener un caudal mínimo de generación correspondiente a un 55% del caudal de diseño de la turbina

**b.** Altura de caída mínima correspondiente a un 30% de la altura de caída de diseño

**FIGURA 8.2-2**

**EFICIENCIA TURBINA**




Fuente: http://www.ossberger.de/cms/uploads/media/1-2-03_01.pdf

## *8.3. Potencial Asociado al Pie del Muro Bajo Operación de Riego*

En el Cuadro 11.3-1 siguiente se ha resumido los resultados del modelo de simulación, en relación con la generación posible de realizar con una central a pie de embalse, cuya operación está supeditada a la operación del embalse para riego. Los resultados fueron obtenidos con el modelo de simulación presentado en el Anexo 11-1. Se estima que la magnitud de la generación hidroeléctrica es muy baja, de modo que su uso y aplicación estaría limitado a consumos locales cerca del embalse, ya que no se justificaría económicamente una línea de transmisión.

**CUADRO 8.3-1**

**RESUMEN DE RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN**

| Alternativa | Superficie con seguridad > 85% (ha) | Caudal Diseño (L/s) | Altura Diseño (m) | Potencia Instalada (kW) | Energía Promedio (kWh) | Factor de Planta (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sin Mejoramiento Calidad | | | | | | |
| 1 | 208,3 | 450,8 | 56,0 | 193,6 | 828.454,1 | 48,8 |
| 2 | 208,3 | 450,8 | 62,5 | 216,1 | 779.411,3 | 41,1 |
| 3 | 208,3 | 450,8 | 65,0 | 224,8 | 755.474,0 | 38,3 |
| Con Mejoramiento Calidad | | | | | | |
| 1 | 229,9 | 386,0 | 56,0 | 165,8 | 830.194,4 | 57,1 |
| 2 | 229,9 | 386,0 | 62,5 | 185,0 | 781.005,7 | 48,1 |
| 3 | 229,9 | 386,0 | 65,0 | 192,4 | 756.997,1 | 44,9 |

Fuente: Elaboración propia.

## *8.4. Potencial Asociado al Pie del Muro Bajo Operación de generación*

En segundo lugar se operó el modelo bajo una condición de privilegiar la generación hidroeléctrica, sin considerar la entrega para riego. Esto se logró entregando energía en forma constante. Los resultados se muestran en el Cuadro 11.4-1. Los resultados muestran claramente que bajo estas consideraciones las MCH generan en promedio un10% más de energía. Se hace notar que el factor de planta se incrementó en cerca de un 40 % en promedio.

**CUADRO 8.4-1**

**RESUMEN DE RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN**

| Alternativa | Caudal Diseño (L/s) | Altura Diseño (m) | Potencia Instalada (kW) | Energía Promedio (kWh) | Factor de Planta (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 307,7 | 56,5 | 133,3 | 911.173,5 | 78,0 |
| 2 | 307,7 | 62,5 | 147,5 | 865.660,5 | 67,0 |
| 3 | 307,7 | 65,0 | 153,4 | 865.660,5 | 64,4 |

Fuente: Elaboración propia.

## *8.5. ALTERNATIVAS DE NEGOCIO DE HIDROGENERACIÓN*

### 8.5.1. Costos

En el Estudio "Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Riego Río El Carmen, Región de Atacama" para la CNR se analizaron 6 alternativas de MCH según los escenarios de altura de muros analizados. A partir de dicho análisis, se obtuvo el costo total de las obras asociadas a la MCH sin su costo asociado a la transmisión, según se muestra en el Cuadro 11.5.1-1.

**CUADRO 8.5.1-1**

**COSTOS TOTALES ALTERNATIVAS DE MCH EL CARMEN**

| Potencia Instalada (kW) | Costo Total (U$) |
|---|---|
| 104 | 420.367 |
| 157 | 627.937 |
| 194 | 703.298 |
| 228 | 753.104 |
| 289 | 1.110.211 |
| 316 | 1.171.550 |

Fuente: Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Riego Río El Carmen, Región de Atacama

Para estimar los costos de transmisión, se consultó el precio unitario de la línea del estudio “Proyecto de Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, Segunda Sección Río Aconcagua”, dicho precio fue de US$ 25.000/km, valor que se adopta para este proyecto. Con esta información se obtienen los costos mostrados en el Cuadro 11.5.1-2, tomando en cuenta que la MCH podría abastecer a las localidades de aroma

7,5 km por la quebrada. Luego vendría Soga a 13,5 km, Jaiña a 15,5 km y Sipiza a 16,0 km, por lo que se considera una línea de 16 km. Los resultados se muestran en el Cuadro 11.5.1-2.

**CUADRO 8.5.1-2**
**COSTOS TOTALES ALTERNATIVAS DE MCH PINTANANE**
**MÁS LÍNEA DE TRANSMISIÓN**

| Alternativa | Energía Promedio (kWh) | Costo Total (US$) | Costo Línea (US$) | Costo Total (US$) |
|---|---|---|---|---|
| **Riego: Calidad Actual** | | | | |
| 1 | 193,6 | 681.804 | 400.000 | 1.081.804 |
| 2 | 216,1 | 757.735 | 400.000 | 1.157.735 |
| 3 | 224,8 | 789.313 | 400.000 | 1.189.313 |
| **Riego: Calidad Mejorada** | | | | |
| 1 | 165,800 | 598.410 | 400.000 | 998.410 |
| 2 | 185,000 | 654.834 | 400.000 | 1.054.834 |
| 3 | 192,400 | 677.975 | 400.000 | 1.077.975 |
| **Hidrogeneración** | | | | |
| 1 | 133,3 | 513.759 | 400.000 | 913.759 |
| 2 | 147,5 | 549.162 | 400.000 | 949.162 |
| 3 | 153,4 | 564.581 | 400.000 | 964.581 |

Fuente: Elaboración propia.

Es interesante observar que cuando se opera bajo condiciones de hidrogeneración, se genera mayor energía a menor costo, ya que las potencias instaladas son menores.

## 8.5.2. Factibilidad de la Generación Hidroeléctrica

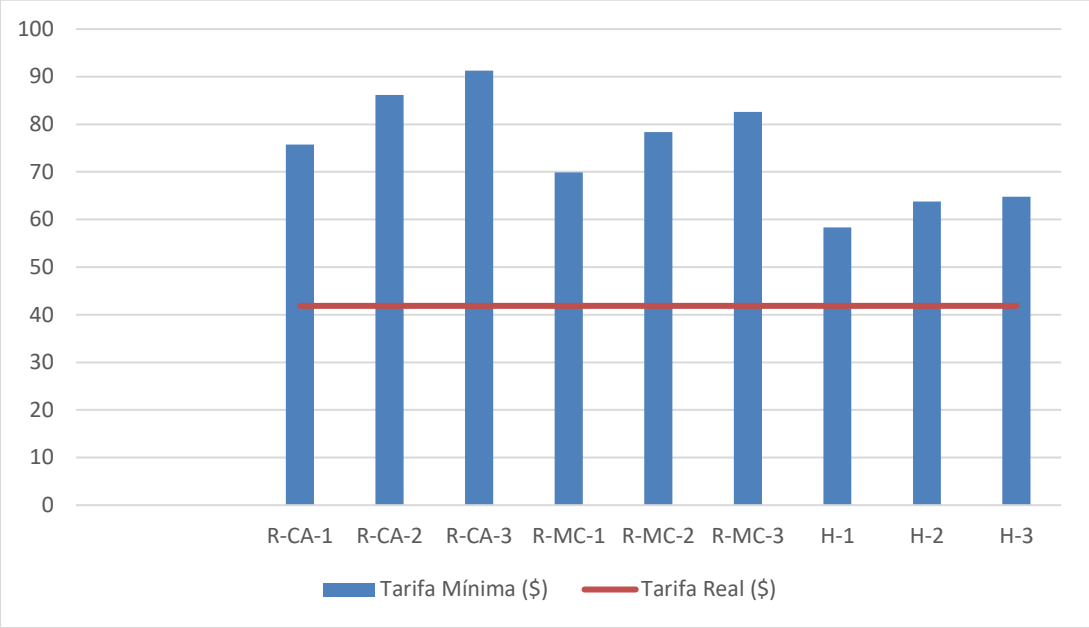
Para la evaluación de beneficios hidroeléctricos, se considera el valor de la generación anual producida por las diferentes alternativas de central. Para esto, se consideran las tarifas vigentes de ELIQSA, la empresa distribuidora de la zona. Según el informe PNP-Nov- 12 **"Fijación de Precios de Nudo Promedio Sistema Interconectado Central y Sistema Interconectado del Norte Grande"** desarrollado para la Comisión Nacional de Energía, las tarifas de distribución vigentes para la zona son 6.468,69 $/kW, en lo que respecta a venta de potencia, y de 41,864 $/kWh, para la venta de energía.

Con el fin de determinar si el proyecto es rentable, se determina la tarifa mínima de generación que hace rentable el proyecto, valor que se compara con la tarifa vigente. Para esto se utiliza la relación siguiente:

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{I_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=N+1}^{30} \frac{O_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=N+1}^{30} \frac{B_{POT.i}}{(1+r)^i} + C_{Min} \cdot \sum_{i=N+1}^{30} \frac{E_i}{(1+r)^i}$$

Dado que la potencia no es entregada el 100 % del tiempo, se considera un 80% del costo para fines de cálculo. Los resultados de este análisis se muestran en el Cuadro 11.5.2-1 y en el Anexo 11-1. La línea roja muestra la tarifa actual, y las barras muestran la tarifa mínima. Se observa que la tarifa mínima es muy superior a la tarifa vigente, lo que hace que el proyecto de generación hidroeléctrica no sea rentable.

**FIGURA 8.5.2-1**
**PRECIO MÍNIMO ENERGÍA PARA QUE UNA MCH SEA FACTIBLE**
**PRECIOS PRIVADOS (r =10%)**




Fuente: Elaboración propia.

## *8.6. Modelo de Negocios*

Dado los resultados mostrados en el Acápite 11.5, el proyecto hidroeléctrico no es rentable, por lo que no corresponde analizar su modelo de negocios.

## *8.7. uso para mejoramiento calidad de aguas*

Un uso alternativo de la energía es el tratamiento de las aguas disponibles para riego. Por ejemplo, si se considera un sistema de osmosis inversa, en la actualidad se requieren entre 2 y 3 kWh/$m^3$. Por otra parte, de acuerdo al modelo de simulación, en promedio sólo puede tratarse un 3,7 % del agua de riego, ya que la energía generable por la MCH no es suficiente. Esto hace necesario que para la operación de la planta de osmosis inversa descrita en el Acápite 10.8 no se pueda usar energía hidroeléctrica, y sea necesario usar energía generada con combustibles fósiles.

# 9. precios unitarios y presupuestos de las obras

## *9.1. Precios Unitarios*

Los precios unitarios, en adelante PU, que se utilizaron para de la valorización de las obras consideradas en cada alternativa de emplazamiento de embalse se prepararon a partir de información disponible en la base de datos del Consultor, en proyectos ejecutados en diciembre de 2003.

En el Cuadro 12.1-1 se muestran los Precios Unitarios de las principales partidas de las obras de arte del embalse, actualizados al 1 Enero de 2014 y adaptados a la zona geográfica de ubicación del proyecto. El análisis de los precios unitarios se desarrolló solo para las partidas principales, cuyo resultado en pesos chilenos se presenta en el Anexo 12-1**.** Los precios indicados son costos directos, es decir, no incluyen gastos generales, utilidades ni tampoco IVA.

**CUADRO 9.1-1**

**PRECIOS UNITARIOS ($) AL 1 ENERO 2014**

| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | PRECIOS MERCADO | PRECIOS SOCIALES |
|---|---|---|---|
| Limpieza / Despeje | m² | 1.539 | 1.385 |
| Excavaciones abiertas en roca | m³ | 13.042 | 12.951 |
| Excavación abierta en roca con explosivo | m³ | 49.529 | 43.136 |
| Relleno Hormigón Pobre con bolón | m³ | 46.238 | 42.817 |
| Hormigón H-30 | m³ | 143.598 | 137.415 |
| Excavaciones en material común | m³ | 2.667 | 2.542 |
| Inyecciones | m | 156.509 | 152.336 |
| Pared moldeada (0,6 m espesor) | m² | 357.620 | 353.299 |
| Hormigón H-30 túnel | m³ | 184.959 | 176.921 |
| Excavación Subterránea en Roca | m³ | 85.848 | 85.127 |
| Instalación de Faenas | Gl | 513.000.000 | 477.000.000 |
| Hormigón H-35 | m³ | 157.113 | 150.930 |
| Hormigón Rodillado | m³ | 109.779 | 85.985 |
| Relleno Terraplén | m³ | 4.563 | 3.449 |
| Cruce de Quebradas | un | 4.400.000 | 4.200.000 |
| Grava compactada | m³ | 9.048 | 9.006 |
| Pantalla Hormigón H-30 | m³ | 143.598 | 137.415 |
| Plinto Hormigón H-30 | m³ | 143.598 | 137.415 |
| Excavaciones en material fluvial | m³ | 3.502 | 3.407 |
| Obra de Captación y Entrega V. Tradicional | Gl | 41.924.000 | 41.923.000 |
| Obra de Captación y Entrega RCC | Gl | 25.153.000 | 25.152.000 |
| Ataguías | Gl | 4.300.000 | 4.270.000 |
| Túnel desvío presa RCC | Gl | 10.100.000 | 10.010.000 |
| Retiro excedentes | m³ | 673 | 429 |
| Metro lineal Túnel D 7-8 m | ml | 2.629 | 2.519 |
| Metro lineal Canal hormigón 0,3X0,4 | ml | 4.931.699 | 4.872.682 |
| Metro lineal Canal hormigón 0,4X0,4 | ml | 22.812 | 21.058 |
| Metro lineal Canal hormigón 0,4X0,5 | ml | 22.812 | 21.058 |

**CUADRO 9.1-1**

**PRECIOS UNITARIOS ($) AL 1 ENERO 2014**

| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | PRECIOS MERCADO | PRECIOS SOCIALES |
|---|---|---|---|
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 250mm | ml | 28.941 | 26.714 |
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 280mm | ml | 10.516 | 10.351 |
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 315mm | ml | 13.006 | 12.841 |
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 355mm | ml | 17.920 | 17.755 |
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 400mm | ml | 22.616 | 22.451 |
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 450mm | ml | 28.563 | 28.398 |
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 500mm | ml | 33.227 | 33.062 |
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 560mm | ml | 44.207 | 44.042 |
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 630mm | ml | 56.793 | 56.628 |
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 710mm | ml | 65.898 | 65.733 |
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 800mm | ml | 84.201 | 84.036 |
| Tubo HDPE PE80 PN4 DN 900mm | ml | 106.846 | 106.681 |
| Cámara de Inspección | uni | 138.003 | 137.838 |
| Aforador Estación de Control | Un | 5.928.579 | 5.672.355 |
| Aforador Bocatoma ARI-CU | Un | 5.469.907 | 5.213.683 |
| Aforador Canales de Riego | Un | 2.305.067 | 2.048.843 |
| Antena Repetidora | Un | 37.405.905 | 31.330.005 |
| Caseta Servidor 3G | Un | 7.457.009 | 6.241.829 |
| Rejilla | Un | 44.800 | 44.800 |
| Compuertas 1x1 | Un | 70.650 | 70.650 |
| Planta móvil Osmosis Inversa | Un | 3.500.000 | 3.500.000 |
| Tratamiento Agua para Hormigón | m³ | 2.200 | 2.200 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia

## *9.2. Presupuesto de las Obras*

En este acápite se presentan los presupuestos de las obras de alternativas estudiadas, de los mejoramientos de la red de distribución y de las variantes de camino, según las partidas más importantes del proyecto. El detalle se puede ver en el Anexo 12-1.

### 9.2.1. Costos Obras Alternativas de Embalse para diferentes Capacidades

En el Cuadro 12.2.1-1 a 12.2.1-3 se presentan los costos de cada una de las alternativas considerando todas las capacidades analizadas, tanto a precios de mercado como sociales. En el Anexo 12-1 se incluyen las cubicaciones de cada partida.

**CUADRO 9.2.1-1**

**COSTO DIRECTO MURO Y OBRAS ANEXAS SITIO DE MURO ALT1 ($)**

| DESCRIPCIÓN | Volumen Útil (hm³) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| **Precios Mercado** | | | | | |
| **Instalaciones Temporales** | | | | | |
| Instalación de Faenas | 513.000.000 | 513.000.000 | 513.000.000 | 513.000.000 | 513.000.000 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Preparación del terreno** | | | | | |
| Limpieza / Despeje | 61.560.262 | 68.289.247 | 69.465.889 | 74.312.446 | 77.644.735 |
| Excavaciones material fluvial | 14.008.060 | 15.539.242 | 15.806.988 | 16.909.824 | 17.668.087 |
| Excavaciones abiertas en roca | 78.252.333 | 86.805.883 | 88.301.572 | 94.462.273 | 98.698.113 |
| **Muro** | | | | | |
| Volumen muro | 4.455.135.672 | 5.471.977.056 | 6.494.600.112 | 7.407.362.352 | 8.480.228.952 |
| Pantalla Hormigón H30 | 4.497.288.241 | 5.058.527.684 | 5.630.993.546 | 6.178.667.731 | 6.704.627.206 |
| Plinto H30 | 24.605.374 | 25.968.262 | 28.077.631 | 29.590.393 | 31.255.569 |
| inyecciones | 1.150.330.194 | 1.221.127.041 | 1.282.996.613 | 1.385.010.745 | 1.563.002.170 |
| **Vertedero y obras de disipación** | | | | | |
| Vertedero H30 | 51.866.880 | 51.866.880 | 76.087.123 | 76.087.123 | 76.087.123 |
| Canal evacuador, rápido y colchón H30 | 333.366.778 | 329.106.512 | 311.894.569 | 317.624.129 | 329.083.249 |
| Excavación abierta en roca con explosivo | 2.335.440.937 | 2.846.183.985 | 2.109.935.400 | 1.613.753.878 | 1.891.908.742 |
| Excavación material común | 25.151.410 | 30.651.831 | 22.722.840 | 17.379.239 | 20.374.813 |
| Relleno estructural | 15.952.110 | 83.552.066 | 85.124.158 | 159.012.482 | 262.770.554 |
| Relleno Hormigón H5 | - | - | - | 86.687.002 | 244.423.316 |
| Volumen Muro secundario de vertedero | - | - | 4.584.573 | 10.694.670 | 22.144.101 |
| **Túnel de Desvío** | | | | | |
| Ataguías | 4.300.000 | 4.300.000 | 4.300.000 | 4.300.000 | 4.300.000 |
| Largo total del túnel 3.5X3.5 | 331.380.305 | 334.198.053 | 386.621.277 | 386.621.277 | 412.832.889 |
| **Obra de Captación y Entrega** | | | | | |
| Obra de Captación y Entrega | 41.924.000 | 41.924.000 | 41.924.000 | 41.924.000 | 41.924.000 |
| **Tratamiento Agua para hormigón** | | | | | |
| Planta móvil Osmosis Inversa | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 |
| Tratamiento Agua para Hormigón | 173.454.627 | 188.926.661 | 197.441.560 | 211.267.636 | 223.944.517 |
| **TOTAL** | **14.081.329.913** | **16.345.270.073** | **17.344.249.439** | **18.606.003.241** | **20.999.183.082** |
| **Precios Sociales** | | | | | |
| **Instalaciones Temporales** | | | | | |
| Instalación de Faenas | 477.000.000 | 477.000.000 | 477.000.000 | 477.000.000 | 477.000.000 |
| **Preparación del terreno** | | | | | |
| Limpieza / Despeje | 1.385 | 55.400.235 | 61.455.885 | 62.514.787 | 66.876.373 |
| Excavaciones material fluvial | 3.407 | 13.628.058 | 15.117.704 | 15.378.186 | 16.451.105 |
| Excavaciones abiertas en roca | 12.951 | 77.706.330 | 86.200.198 | 87.685.451 | 93.803.167 |
| **Muro** | | | | | |
| volumen muro | 9.006 | 4.434.455.334 | 5.446.576.632 | 6.464.452.764 | 7.372.978.044 |
| Pantalla Hormigón H30 | 353.299 | 4.442.939.048 | 4.997.395.978 | 5.562.943.658 | 6.103.999.266 |
| Plinto H30 | 137.415 | 23.545.923 | 24.850.129 | 26.868.673 | 28.316.298 |
| inyecciones | 152.336 | 1.119.658.936 | 1.188.568.126 | 1.248.788.070 | 1.348.082.198 |
| **Vertedero y obras de disipación** | | | | | |
| Vertedero H30 | 49.633.611 | 49.633.611 | 72.810.987 | 72.810.987 | 72.810.987 |
| Canal evacuador, rápido y colchón H30 | 319.012.770 | 314.935.942 | 298.465.105 | 303.947.964 | 314.913.681 |
| Excavación abierta en roca con explosivo | 2.033.991.808 | 2.478.810.240 | 1.837.593.600 | 1.405.457.152 | 1.647.708.928 |
| Excavación material común | 23.972.585 | 29.215.206 | 21.657.840 | 16.564.689 | 19.419.863 |
| Relleno estructural | 14.771.865 | 77.370.319 | 78.826.097 | 147.247.663 | 243.329.011 |
| Relleno Hormigón H5 | - | - | - | 86.687.002 | 244.423.316 |
| Volumen Muro secundario de vertedero | - | - | 4.584.573 | 10.694.670 | 22.144.101 |
| **Túnel de Desvío** | | | | | |
| Ataguías | 4.270.000 | 4.270.000 | 4.270.000 | 4.270.000 | 4.270.000 |
| Largo total del túnel 3.5X3.5 | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 |
| **Obra de Captación y Entrega** | | | | | |
| Obra de Captación y Entrega | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 |
| **Tratamiento Agua para hormigón** | | | | | |
| Planta móvil Osmosis Inversa | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 |
| Tratamiento Agua para Hormigón | 2.200 | 173.454.627 | 188.926.661 | 197.441.560 | 211.267.636 |
| **TOTAL** | **13.605.978.561** | **15.784.651.565** | **16.864.272.008** | **18.170.409.324** | **20.502.436.478** |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 9.2.1-2
## COSTO DIRECTO MURO Y OBRAS ANEXAS SITIO DE MURO ALT2 ($)

| DESCRIPCIÓN | Volumen Útil (hm³) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| **Precios Mercado** | | | | | |
| **Instalaciones Temporales** | | | | | |
| Instalación de Faenas | 513.000.000 | 513.000.000 | 513.000.000 | 513.000.000 | 513.000.000 |
| **Preparación del Terreno** | | | | | |
| Limpieza/Despeje | 65.102.301 | 75.768.879 | 81.775.904 | 91.977.766 | 95.705.347 |
| Excavaciones material fluvial | 11.281.861 | 13.130.318 | 14.171.302 | 15.939.227 | 16.585.196 |
| Excavaciones abiertas en roca | 82.754.796 | 96.313.618 | 103.949.448 | 116.917.546 | 121.655.861 |
| **Muro** | | | | | |
| Volumen muro | 4.725.544.200 | 5.971.598.568 | 7.104.055.296 | 8.343.278.424 | 9.232.533.960 |
| Pantalla Hormigón H30 | 4.747.187.655 | 5.731.065.747 | 6.627.016.427 | 7.527.863.645 | 8.163.276.419 |
| Plinto H30 | 27.108.833 | 29.135.776 | 30.832.487 | 32.151.664 | 33.102.943 |
| inyecciones | 1.096.466.057 | 1.224.662.579 | 1.340.991.023 | 1.451.943.384 | 1.510.973.883 |
| **Vertedero y Obras de Disipación** | | | | | |
| Vertedero H30 | 51.866.880 | 51.866.880 | 51.866.880 | 51.866.880 | 51.866.880 |
| Canal evacuador, rápido y colchón H30 | 337.199.408 | 352.599.432 | 375.638.295 | 404.510.396 | 431.989.023 |
| Excavación abierta en roca con explosivo | 2.991.403.013 | 3.177.235.821 | 3.282.633.533 | 3.356.332.685 | 3.313.638.687 |
| Excavación material común | 48.323.640 | 51.325.615 | 53.028.228 | 54.218.777 | 53.529.090 |
| Relleno estructural | 78.697.076 | 21.546.908 | 390.110.006 | 415.124.764 | 24.552.378 |
| **Túnel de Desvío** | | | | | |
| Ataguías | 4.300.000 | 4.300.000 | 4.300.000 | 4.300.000 | 4.300.000 |
| Largo total del túnel 3.5X3.5 | 465.256.113 | 465.256.113 | 465.256.113 | 524.232.240 | 524.232.240 |
| **Obra de Captación y Entrega** | | | | | |
| Obras | 41.924.000 | 41.924.000 | 41.924.000 | 41.924.000 | 41.924.000 |
| **Tratamiento Agua para hormigón** | | | | | |
| Planta móvil Osmosis Inversa | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 |
| Tratamiento Agua para Hormigón | 180.742.651 | 208.727.158 | 232.617.134 | 259.094.376 | 278.134.759 |
| **TOTAL** | 15.442.129.378 | 18.002.302.043 | 20.687.155.989 | 23.177.706.955 | 24.383.455.496 |
| **Precios Sociales** | | | | | |
| **Instalaciones Temporales** | | | | | |
| Instalación de Faenas | 477.000.000 | 477.000.000 | 477.000.000 | 477.000.000 | 477.000.000 |
| **Preparación del Terreno** | | | | | |
| Limpieza/Despeje | 58.587.841 | 68.187.068 | 73.593.000 | 82.774.013 | 86.128.593 |
| Excavaciones material fluvial | 10.753.090 | 12.514.912 | 13.507.105 | 15.192.169 | 15.807.862 |
| Excavaciones abiertas en roca | 82.177.378 | 95.641.594 | 103.224.145 | 116.101.758 | 120.807.012 |
| **Muro** | | | | | |
| Volumen muro | 4.703.608.650 | 5.943.878.946 | 7.071.078.912 | 8.304.549.678 | 9.189.677.370 |
| Pantalla Hormigón H30 | 4.689.818.457 | 5.661.806.499 | 6.546.929.721 | 7.436.890.308 | 8.064.624.194 |
| Plinto H30 | 25.941.588 | 27.881.256 | 29.504.911 | 30.767.287 | 31.677.607 |
| inyecciones | 1.067.230.979 | 1.192.009.396 | 1.305.236.175 | 1.413.230.212 | 1.470.686.781 |
| **Vertedero y Obras de Disipación** | | | | | |
| Vertedero H30 | 49.633.611 | 49.633.611 | 49.633.611 | 49.633.611 | 49.633.611 |
| Canal evacuador, rápido y colchón H30 | 322.680.376 | 337.417.311 | 359.464.173 | 387.093.108 | 413.388.568 |
| Excavación abierta en roca con explosivo | 2.605.284.992 | 2.767.131.264 | 2.858.924.672 | 2.923.111.040 | 2.885.927.808 |
| Excavación material común | 46.058.752 | 48.920.027 | 50.542.840 | 51.677.589 | 51.020.228 |
| Relleno estructural | 72.874.534 | 19.952.722 | 361.247.029 | 384.411.026 | 22.735.827 |
| **Túnel de Desvío** | | | | | |
| Ataguías | 4.270.000 | 4.270.000 | 4.270.000 | 4.270.000 | 4.270.000 |
| Largo total del túnel 3.5X3.5 | 458.125.778 | 458.125.778 | 458.125.778 | 516.198.060 | 516.198.060 |
| **Obra de Captación y Entrega** | | | | | |
| Obras | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 |
| **Tratamiento Agua para hormigón** | | | | | |
| Planta móvil Osmosis Inversa | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 |
| Tratamiento Agua para Hormigón | 180.742.651 | 208.727.158 | 232.617.134 | 259.094.376 | 278.134.759 |
| **TOTAL** | 14.870.682.572 | 17.387.865.174 | 20.010.812.121 | 22.466.948.419 | 23.692.096.111 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 9.2.1-3
## COSTO DIRECTO MURO Y OBRAS ANEXAS SITIO DE MURO ALT3 ($)

| DESCRIPCIÓN | Volumen Útil (hm³) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| **Precios Mercado** | | | | | |
| **Instalaciones Temporales** | | | | | |
| Instalación de Faenas | 513.000.000 | 513.000.000 | 513.000.000 | 513.000.000 | 513.000.000 |
| **Preparación del Terreno** | | | | | |
| Limpieza/Despeje | 60.712.427 | 66.362.003 | 71.973.274 | 75.417.972 | 81.870.522 |
| Excavaciones material fluvial | 10.521.120 | 11.500.160 | 12.472.562 | 13.069.508 | 14.187.699 |
| Excavaciones abiertas en roca | 77.174.607 | 84.356.067 | 91.488.834 | 95.867.562 | 104.069.721 |
| **Muro** | | | | | |
| Volumen muro | 4.982.534.544 | 6.232.497.648 | 6.325.583.472 | 8.350.969.224 | 9.532.710.408 |
| Pantalla Hormigón H30 | 4.730.880.165 | 5.485.989.917 | 6.040.959.559 | 6.503.710.343 | 6.989.862.376 |
| Plinto H30 | 26.416.834 | 28.742.475 | 30.519.773 | 32.072.829 | 33.688.952 |
| inyecciones | 1.342.789.312 | 1.421.917.132 | 1.483.462.731 | 1.536.214.090 | 1.584.141.841 |
| **Vertedero y Obras de Disipación** | | | | | |
| Vertedero H30 | 51.866.880 | 51.866.880 | 51.866.880 | 51.866.880 | 51.866.880 |
| Canal evacuador, rápido y colchón H30 | 331.643.889 | 323.799.130 | 317.948.948 | 311.026.375 | 312.532.144 |
| Excavación abierta en roca con explosivo | 3.873.564.032 | 3.424.187.415 | 3.296.452.124 | 3.222.752.972 | 3.253.807.655 |
| Excavación material común | 41.716.147 | 36.876.609 | 35.500.970 | 34.707.271 | 35.041.713 |
| Relleno estructural | 16.183.300 | 12.946.640 | 11.467.024 | 25.338.424 | 14.888.636 |
| **Túnel de Desvío** | | | | | |
| Ataguías | 4.300.000 | 4.300.000 | 4.300.000 | 4.300.000 | 4.300.000 |
| Largo total del túnel 3.5X3.5 | 262.116.120 | 275.221.926 | 419.385.792 | 419.385.792 | 419.385.792 |
| **Obra de Captación y Entrega** | | | | | |
| Obras | 41.924.000 | 41.924.000 | 41.924.000 | 41.924.000 | 41.924.000 |
| **Tratamiento Agua para hormigón** | | | | | |
| Planta móvil Osmosis Inversa | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 |
| Tratamiento Agua para Hormigón | 174.948.746 | 196.025.324 | 211.242.140 | 221.076.351 | 233.300.658 |
| **TOTAL** | 16.521.223.771 | 18.188.751.411 | 18.935.813.861 | 21.430.880.175 | 23.199.449.011 |
| **Precios Sociales** | | | | | |
| **Instalaciones Temporales** | | | | | |
| Instalación de Faenas | 477.000.000 | 477.000.000 | 477.000.000 | 477.000.000 | 477.000.000 |
| **Preparación del Terreno** | | | | | |
| Limpieza/Despeje | 54.637.239 | 59.721.491 | 64.771.270 | 67.871.274 | 73.678.150 |
| Excavaciones material fluvial | 10.028.004 | 10.961.157 | 11.887.983 | 12.456.952 | 13.522.733 |
| Excavaciones abiertas en roca | 76.636.124 | 83.767.476 | 90.850.475 | 95.198.650 | 103.343.579 |
| **Muro** | | | | | |
| Volumen muro | 4.959.406.068 | 6.203.566.956 | 6.296.220.684 | 8.312.204.778 | 9.488.460.426 |
| Pantalla Hormigón H30 | 4.673.708.041 | 5.419.692.382 | 5.967.955.281 | 6.425.113.777 | 6.905.390.720 |
| Plinto H30 | 25.279.386 | 27.504.890 | 29.205.662 | 30.691.846 | 32.238.383 |
| inyecciones | 1.306.986.516 | 1.384.004.551 | 1.443.909.159 | 1.495.254.008 | 1.541.903.861 |
| **Vertedero y Obras de Disipación** | | | | | |
| Vertedero H30 | 49.633.611 | 49.633.611 | 49.633.611 | 49.633.611 | 49.633.611 |
| Canal evacuador, rápido y colchón H30 | 317.364.065 | 309.857.084 | 304.258.796 | 297.634.294 | 299.075.228 |
| Excavación abierta en roca con explosivo | 3.373.580.288 | 2.982.207.360 | 2.870.959.616 | 2.806.773.248 | 2.833.819.520 |
| Excavación material común | 39.760.947 | 35.148.234 | 33.837.070 | 33.080.571 | 33.399.338 |
| Relleno estructural | 14.985.950 | 11.988.760 | 10.618.616 | 23.463.716 | 13.787.074 |
| **Túnel de Desvío** | | | | | |
| Ataguías | 4.270.000 | 4.270.000 | 4.270.000 | 4.270.000 | 4.270.000 |
| Largo total del túnel 3.5X3.5 | 258.099.030 | 271.003.982 | 412.958.448 | 412.958.448 | 412.958.448 |
| **Obra de Captación y Entrega** | | | | | |
| Obras | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 | 41.923.000 |
| **Tratamiento Agua para hormigón** | | | | | |
| Planta móvil Osmosis Inversa | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 | 3.500.000 |
| Tratamiento Agua para Hormigón | 174.948.746 | 196.025.324 | 211.242.140 | 221.076.351 | 233.300.658 |
| **TOTAL** | 15.837.178.664 | 17.545.514.341 | 18.297.767.590 | 20.784.785.108 | 22.536.574.745 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

Además se realizó el diseño de un muro tipo RCC en el sitio alternativo ALT2 para una capacidad de volumen umbral de 9 $hm^3$, con el fin de descartar este tipo de muro ya que las

características morfológicas de la garganta no son aptas para su construcción cuando se tienen alturas mayores a los 30 m. En el Cuadro 12.2.1-4 se incluyen sus costos.

**CUADRO 9.2.1-4**
**COSTOS MURO Y OBRAS ANEXAS SITIO DE MURO ALT2 MURO RCC 9 HM³**
**COSTO DIRECTO**

| Descripción | Mercado | Social |
|---|---|---|
| **Instalaciones Temporales** | | |
| Instalación de Faenas | 513.000.000 | 477.000.000 |
| **Preparación del terreno** | | |
| Limpieza / Despeje | 24.559.393 | 22.101.858 |
| Excavación Material común | 12.768.012 | 12.169.586 |
| **Inyecciones** | | |
| metros perforados | 1.203.369.529 | 1.171.284.084 |
| **Excavación para Muro** | | |
| Excavaciones abiertas en roca (desquinche, perfilado y encauce) | 12.494.534.719 | 10.881.791.469 |
| Excavación abierta en material fluvial | 162.116.262 | 154.518.012 |
| **Volumen Presa RCC** | | |
| Hormigón Rodillado Presa RCC | 19.729.114.120 | 15.452.936.150 |
| Hormigón H30 | 3.481.109.896 | 3.331.221.301 |
| Cama hormigón pobre | 445.480.011 | 412.520.387 |
| **Vertedero y colchón** | | |
| Hormigón H35 | 189.635.391 | 182.172.510 |
| **Túnel de Desvío** | | |
| Por el Núcleo de la presa | 10.100.000 | 10.010.000 |
| **Obra de Captación y Entrega** | | |
| Obra de Captación y Entrega | 25.153.000 | 25.152.000 |
| **Tratamiento Agua para hormigón** | | |
| Planta móvil Osmosis Inversa | 3.500.000 | 3.500.000 |
| Tratamiento Agua para Hormigón | 242.254.854 | 242.254.854 |
| **TOTAL** | 38.532.388.951 | 32.374.325.973 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en las Figuras 12.2.1-1 y 12.2.1--2 se presentan las Curvas de Costos para los tres sitios alternativos de Embalse a precios de mercado y precios sociales respectivamente. De la Figuras mencionadas se puede indicar lo siguiente:

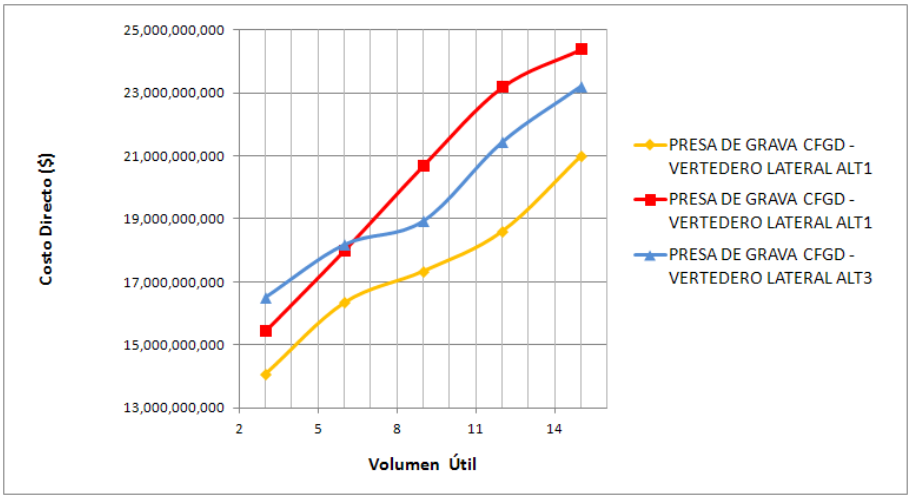
- El costo directo de un muro tipo RCC es en promedio un 51% (43% para precios sociales) mayor al estimado para una presa tipo CFGD, por tanto se descarta el uso de este tipo de muro.

- Los costos asociados a la construcción del muro en el sitio ALT1 son menores para todas las capacidades de embalse analizadas.

- Resalta el hecho de que la curva de costos del sitio ALT2 presenta valores mayores que el sitio ALT3 para volúmenes útiles sobre los 6 hm³.

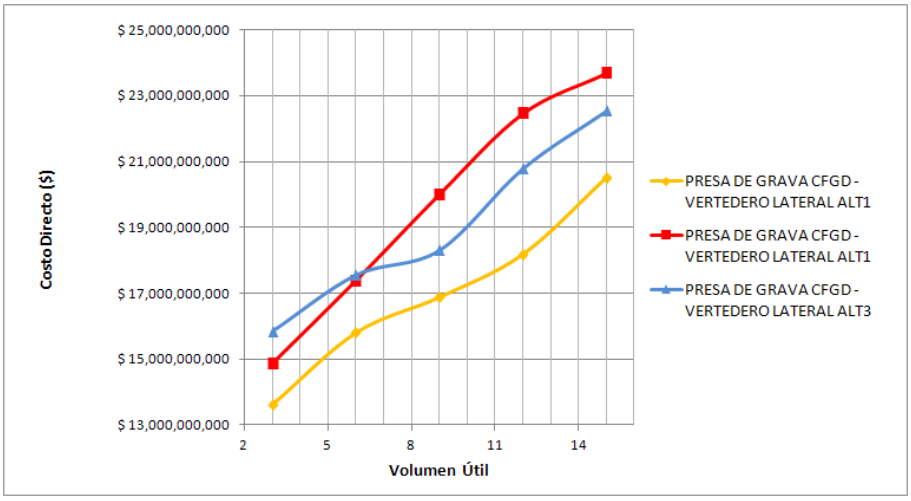
**FIGURA 9.2.1-1**

**CURVAS DE COSTOS DE EMBALSE (COSTO DIRECTO PRECIOS MERCADO)**




Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 9.2.1-2**
**CURVAS DE COSTOS DE EMBALSE (COSTO DIRECTO PRECIOS SOCIALES)**




Fuente: Elaboración propia.

## 9.2.2. Costos Obras de Mejoramiento de Canales y Nuevos Trazados

En el Cuadro 12.2.2-1 se presentan los costos asociados al mejoramiento de los canales existentes y a los nuevos canales proyectados.

Los costos asociados a las diferentes capacidades de embalse de las conducciones ARI-CU y CU-C.U. se presentan en el Cuadro 12.2.2-2 y 12.2.2-3 considerando los escenarios de calidad actual y mejorada.

**CUADRO 9.2.2-1**

## COSTOS OBRAS DE MEJORAMIENTO DE CANALES Y NUEVOS TRAZADOS
## COSTOS DIRECTOS ($)

| Descripción | PU ($) | Total ($) |
|---|---|---|
| **Precios Mercado** | | |
| **Construcción y Mejoramiento de Canales** | | |
| Pailca ml Canal losetas 0,3X0,4 | 22.812 | 4.995.895 |
| Cala Cala 1 ml Canal losetas 0,4X0,4 | 22.812 | 14.143.630 |
| Cala Cala 2 ml Canal losetas 0,4X0,4 | 22.812 | 7.185.876 |
| Ariquilda 1 ml Canal losetas 0,4X0,5 | 28.941 | 14.470.354 |
| Ariquilda 3 ml Canal losetas 0,3X0,4 | 22.812 | 17.884.848 |
| Ariquilda 4 ml Canal losetas 0,3X0,4 | 22.812 | 8.851.175 |
| **Total Costo Directo** | | **67.531.778** |
| **Precios Sociales** | | |
| **Construcción y Mejoramiento de Canales** | | |
| Pailca ml Canal losetas 0,3X0,4 | 21.058 | 4.611.595 |
| Cala Cala 1 ml Canal losetas 0,4X0,4 | 21.058 | 13.055.658 |
| Cala Cala 2 ml Canal losetas 0,4X0,4 | 21.058 | 6.633.117 |
| Ariquilda 1 ml Canal losetas 0,4X0,5 | 26.714 | 13.357.250 |
| Ariquilda 3 ml Canal losetas 0,3X0,4 | 21.058 | 16.509.090 |
| Ariquilda 4 ml Canal losetas 0,3X0,4 | 21.058 | 8.170.315 |
| **Total Costo Directo** | | **62.337.026** |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 9.2.2-2
## COSTOS CONDUCCIONES ESCENARIO DE CALIDAD DE AGUA ACTUAL.
## COSTOS DIRECTOS ($)

| DESCRIPCIÓN | Volumen Útil (hm³) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| **Precios Mercado** | | | | | |
| **Costo Directo Acueducto ARI-CU** | 1.029.470.934 | 1.302.004.846 | 1.511.415.130 | 1.664.853.511 | 1.664.853.511 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 1 | 539.533.500 | 626.031.000 | 799.909.500 | 799.909.500 | 799.909.500 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 2 | 102.227.400 | 118.616.400 | 151.561.800 | 151.561.800 | 151.561.800 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 3 | 54.278.400 | 79.744.800 | 79.744.800 | 106.096.800 | 106.096.800 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 4 | 43.195.100 | 73.830.900 | 73.830.900 | 85.667.400 | 85.667.400 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 5 | 233.578.048 | 343.168.456 | 343.168.456 | 456.569.896 | 456.569.896 |
| Tubería Acero e= 3mm Sifón 1 | 19.911.932 | 20.642.711 | 21.545.438 | 23.393.879 | 23.393.879 |
| Tubería Acero e= 3mm Sifón 2 | 23.836.880 | 27.060.905 | 28.744.563 | 28.744.563 | 28.744.563 |
| Cámara de Inspección | 12.909.674 | 12.909.674 | 12.909.674 | 12.909.674 | 12.909.674 |
| **Costo Directo Acueducto CU-C.U.** | **663.683.376** | **1.126.519.616** | **1.126.519.616** | **1.305.341.816** | **1.305.341.816** |
| Total Tubería HDPE PN4 | 652.578.280 | 1.115.414.520 | 1.115.414.520 | 1.294.236.720 | 1.294.236.720 |
| Cámara de Inspección | 11.105.096 | 11.105.096 | 11.105.096 | 11.105.096 | 11.105.096 |
| **Costo Directo Total** | **1.693.154.309** | **2.428.524.461** | **2.637.934.746** | **2.970.195.327** | **2.970.195.327** |
| **Precios Sociales** | | | | | |
| **Costo Directo Acueducto ARI-CU** | 1.024.734.994 | 1.297.268.906 | 1.506.679.191 | 1.660.117.572 | 1.660.117.572 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 1 | 537.966.000 | 624.463.500 | 798.342.000 | 798.342.000 | 798.342.000 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 2 | 101.930.400 | 118.319.400 | 151.264.800 | 151.264.800 | 151.264.800 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 3 | 53.882.400 | 79.348.800 | 79.348.800 | 105.700.800 | 105.700.800 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 4 | 42.980.600 | 73.616.400 | 73.616.400 | 85.452.900 | 85.452.900 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 5 | 231.873.928 | 341.464.336 | 341.464.336 | 454.865.776 | 454.865.776 |
| Tubería Acero e= 3mm Sifón 1 | 19.911.932 | 20.642.711 | 21.545.438 | 23.393.879 | 23.393.879 |
| Tubería Acero e= 3mm Sifón 2 | 23.836.880 | 27.060.905 | 28.744.563 | 28.744.563 | 28.744.563 |
| Cámara de Inspección | 12.352.855 | 12.352.855 | 12.352.855 | 12.352.855 | 12.352.855 |
| **Costo Directo Acueducto CU-C.U.** | 659.963.792 | 1.122.800.032 | 1.122.800.032 | 1.301.622.232 | 1.301.622.232 |
| Total Tubería HDPE PN4 | 649.337.680 | 1.112.173.920 | 1.112.173.920 | 1.290.996.120 | 1.290.996.120 |
| Cámara de Inspección | 10.626.112 | 10.626.112 | 10.626.112 | 10.626.112 | 10.626.112 |
| **Costo Directo Total** | 1.684.698.786 | 2.420.068.938 | 2.629.479.223 | 2.961.739.804 | 2.961.739.804 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 9.2.2-3
## COSTOS CONDUCCIONES ESCENARIO DE CALIDAD DE AGUA MEJORADA.
## COSTOS DIRECTOS ($)

| DESCRIPCIÓN | Volumen Útil (hm³) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| **Precios Mercado** | | | | | |
| **Costo Directo Acueducto ARI-CU** | 1.029.470.934 | 1.223.829.395 | 1.302.004.846 | 1.509.731.473 | 1.511.415.130 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 1 | 539.533.500 | 626.031.000 | 626.031.000 | 799.909.500 | 799.909.500 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 2 | 102.227.400 | 118.616.400 | 118.616.400 | 151.561.800 | 151.561.800 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 3 | 54.278.400 | 68.551.200 | 79.744.800 | 79.744.800 | 79.744.800 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 4 | 43.195.100 | 57.469.100 | 73.830.900 | 73.830.900 | 73.830.900 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 5 | 233.578.048 | 294.998.664 | 343.168.456 | 343.168.456 | 343.168.456 |
| Tubería Acero e= 3mm Sifón 1 | 19.911.932 | 19.911.932 | 20.642.711 | 21.545.438 | 21.545.438 |
| Tubería Acero e= 3mm Sifón 2 | 23.836.880 | 25.341.425 | 27.060.905 | 27.060.905 | 28.744.563 |
| Cámara de Inspección | 12.909.674 | 12.909.674 | 12.909.674 | 12.909.674 | 12.909.674 |
| **Costo Directo Acueducto CU-C.U.** | 663.683.376 | 879.330.576 | 1.126.519.616 | 1.126.519.616 | 1.126.519.616 |
| Total Tubería HDPE PN4 | 652.578.280 | 868.225.480 | 1.115.414.520 | 1.115.414.520 | 1.115.414.520 |
| Cámara de Inspección | 11.105.096 | 11.105.096 | 11.105.096 | 11.105.096 | 11.105.096 |
| **Costo Directo Total** | 1.277.192.611 | 1.532.971.688 | 1.659.316.931 | 1.867.043.558 | 1.868.727.216 |
| **Precios Sociales** | | | | | |
| **Costo Directo Acueducto ARI-CU** | 1.024.734.994 | 1.219.093.455 | 1.297.268.906 | 1.504.995.533 | 1.506.679.191 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 1 | 537.966.000 | 624.463.500 | 624.463.500 | 798.342.000 | 798.342.000 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 2 | 101.930.400 | 118.319.400 | 118.319.400 | 151.264.800 | 151.264.800 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 3 | 53.882.400 | 68.155.200 | 79.348.800 | 79.348.800 | 79.348.800 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 4 | 42.980.600 | 57.254.600 | 73.616.400 | 73.616.400 | 73.616.400 |
| Tubería HDPE PN4 tramo 5 | 231.873.928 | 293.294.544 | 341.464.336 | 341.464.336 | 341.464.336 |
| Tubería Acero e= 3mm Sifón 1 | 19.911.932 | 19.911.932 | 20.642.711 | 21.545.438 | 21.545.438 |
| Tubería Acero e= 3mm Sifón 2 | 23.836.880 | 25.341.425 | 27.060.905 | 27.060.905 | 28.744.563 |
| Cámara de Inspección | 12.352.855 | 12.352.855 | 12.352.855 | 12.352.855 | 12.352.855 |
| **Costo Directo Acueducto CU-C.U.** | 659.963.792 | 875.610.992 | 1.122.800.032 | 1.122.800.032 | 1.122.800.032 |
| Total Tubería HDPE PN4 | 649.337.680 | 864.984.880 | 1.112.173.920 | 1.112.173.920 | 1.112.173.920 |
| Cámara de Inspección | 10.626.112 | 10.626.112 | 10.626.112 | 10.626.112 | 10.626.112 |
| **Costo Directo Total** | 1.269.664.581 | 1.525.443.658 | 1.651.788.901 | 1.859.515.528 | 1.861.199.185 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

### 9.2.3. Costos Variante de Caminos

En el Cuadro 12.2.3-1 se presentan los costos asociados a la variante de camino necesaria para mantener la conectividad de los poblados y sectores ubicados aguas arriba de los sitios alternativos de embalse para el sitio ALT1. Además se incluye el costo del camino de acceso hacia el sector de aguas abajo del muro. En el Cuadro 12.2.3-2 se incluyen los costos directos totales de las tres alternativas, tanto para precios sociales como para precios privados. El detalle se presenta en el Anexo 12-1.

**CUADRO 9.2.3-1**
**COSTOS DIRECTOS VARIANTE DE CAMINO Y ACCESO AL MURO ALT1**
**PRECIO PRIVADO**

| DESCRIPCIÓN | PU | Volumen Útil (hm³) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| Variantes de Camino | | | | | | |
| Excavación abierta en roca con explosivo | 49.529 | 97.056.141 | 269.447.154 | 340.472.252 | 373.571.326 | 409.945.830 |
| Excavaciones abiertas en roca | 13.042 | 59.632.695 | 165.552.225 | 209.191.072 | 229.527.621 | 251.876.642 |
| Relleno Terraplén | 4.563 | 4.691.783 | 13.025.323 | 16.458.741 | 18.058.781 | 19.817.158 |
| Retiro excedentes | 2.629 | 10.325.681 | 28.666.144 | 36.222.415 | 39.743.783 | 43.613.621 |
| Cruce de Quebradas | 5.000.000 | 5.000.000 | 5.000.000 | 10.000.000 | 10.000.000 | 10.000.000 |
| Camino de Acceso | | | | | | |
| Excavación abierta en roca con explosivo | 49.529 | 730.617.138 | 730.617.138 | 730.617.138 | 730.617.138 | 730.617.138 |
| Excavaciones abiertas en roca | 13.042 | 448.901.727 | 448.901.727 | 448.901.727 | 448.901.727 | 448.901.727 |
| Relleno Terraplén | 4.563 | 14.761.305 | 14.761.305 | 14.761.305 | 14.761.305 | 14.761.305 |
| Retiro excedentes | 2.629 | 83.651.573 | 83.651.573 | 83.651.573 | 83.651.573 | 83.651.573 |
| Total Proyecto de Caminos | | 1.454.638.042 | 1.759.622.589 | 1.890.276.222 | 1.948.833.255 | 2.013.184.994 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO 9.2.3-2**
**COSTOS DIRECTOS VARIANTE DE CAMINO Y ACCESO AL MURO**
**TODAS LAS ALTERNATIVAS**

| Alternativa de Sitio de Muro | Volumen Útil (hm³) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| **Precio de Mercado** | | | | | |
| ALT1 | 1.454.038.042 | 1.759.022.589 | 1.889.076.222 | 1.947.633.255 | 2.011.984.994 |
| ALT2 | 1.608.642.513 | 1.908.562.569 | 2.133.761.412 | 2.259.110.060 | 2.333.831.274 |
| ALT3 | 1.867.903.426 | 2.039.729.973 | 2.392.717.340 | 2.479.027.967 | 2.516.541.066 |
| **Precio Social** | | | | | |
| ALT1 | 1.334.775.762 | 1.613.967.821 | 1.733.194.950 | 1.786.799.825 | 1.845.709.349 |
| ALT2 | 1.477.047.634 | 1.751.226.355 | 1.957.003.022 | 2.071.750.958 | 2.140.153.012 |
| ALT3 | 1.715.099.728 | 1.872.017.784 | 2.194.775.923 | 2.273.787.276 | 2.308.127.899 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración Propia

### 9.2.4. Costos Asociados a sistema remoto de Aforos

En el Cuadro 12.2.4-1 se presentan los costos asociados a la instalación de un sistema remoto de aforos para la red de distribución del embalse Pintanane.

**CUADRO 9.2.4-1**
**COSTOS DIRECTO SISTEMA REMOTO DE AFOROS**

| Descripción | Mercado | Social |
|---|---|---|
| Aforador Estación de Control | 5.928.579 | 5.672.355 |
| Aforador Bocatoma ARI-CU | 5.469.907 | 5.213.683 |
| Aforador Canales de Riego | 13.830.402 | 12.293.058 |
| Antena Repetidora | 37.405.905 | 31.330.005 |
| Caseta Servidor 3G | 7.457.009 | 6.241.829 |
| **Total Costo Directo** | **70.091.802** | **60.750.930** |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

### 9.2.5. Costos de las MCH

En el Cuadro 12.2.5-1 se incluye el costo directo de la MCH. No se consideran precios sociales para este tipo de obras.

**CUADRO 9.2.5-1**
**COSTOS DIRECTO MCH**

| Alternativa de Sitio de Muro | Volumen Útil (hm³) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| ALT1 | 485.022.405 | 508.994.459 | 535.160.956 | 545.145.334 | 558.973.004 |
| ALT2 | 485.022.405 | 508.994.459 | 535.160.956 | 545.145.334 | 558.973.004 |
| ALT3 | 485.022.405 | 508.994.459 | 535.160.956 | 545.145.334 | 558.973.004 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

### 9.2.6. Costos Asociados al Mejoramiento de la Calidad de Agua

Los Costos asociados al mejoramiento de calidad de agua sólo se incluyen como gasto en dicho escenario. No se consideran precios sociales para este tipo de obras. En el Cuadro 12.2.6-1 se incluye el costo directo de la MCH.

**CUADRO 9.2.6-1**
**COSTOS DIRECTO PLANTA DE OSMOSIS INVERSA ($)**

| Alternativa de Sitio de Muro | Volumen Útil (hm³) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| ALT1 | 11.021.100.000 | 14.522.600.000 | 16.757.200.000 | 17.694.900.000 | 18.543.700.000 |
| ALT2 | 11.021.100.000 | 14.522.600.000 | 16.757.200.000 | 17.694.900.000 | 18.543.700.000 |
| ALT3 | 11.021.100.000 | 14.522.600.000 | 16.757.200.000 | 17.694.900.000 | 18.543.700.000 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

Los Gastos Operacionales de la planta de osmosis inversa se incluyen en el Cuadro 12.2.6-2.

**CUADRO 9.2.6-2**
**COSTOS OPERACIONALES PLANTA DE OSMOSIS INVERSA ($/año)**

| Alternativa de Sitio de Muro | Volumen Útil (hm³) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| ALT1 | 1.796.400.000 | 2.362.800.000 | 2.688.000.000 | 2.841.600.000 | 2.973.600.000 |
| ALT2 | 1.796.400.000 | 2.362.800.000 | 2.688.000.000 | 2.841.600.000 | 2.973.600.000 |
| ALT3 | 1.796.400.000 | 2.362.800.000 | 2.688.000.000 | 2.841.600.000 | 2.973.600.000 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

## 9.2.7. Resumen de Presupuestos

En los Cuadros 12.2.7-1 a 12.2.7-3 se resumen los costos estimados para cada alternativa de sitio de embalse considerando una calidad de agua igual a la actual, este cuadro incluye los costos de las obras, gastos generales y contingencias. Además, en el Cuadro 12.2.7-4 se resume el costo total para la situación de calidad de agua mejorada.

## CUADRO 9.2.7-1
## RESUMEN DE COSTOS POR CAPACIDAD DE EMBALSE ALT1
## TOTAL NETO; INCLUYE GG, UTILIDADES Y CONTINGENCIAS (45%)

| DESCRIPCIÓN | Volumen Útil ($hm^3$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| **Precio de Mercado** | | | | | |
| Costo Muro y Obras Anexas | 14.081.329.913 | 16.345.270.073 | 17.344.249.439 | 18.606.003.241 | 20.999.183.082 |
| Costo Directo Total Acueductos Calidad Actual | 1.693.154.309 | 2.428.524.461 | 2.637.934.746 | 2.970.195.327 | 2.970.195.327 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 67.531.778 | 67.531.778 | 67.531.778 | 67.531.778 | 67.531.778 |
| Construcción de caminos: Variantes de Camino y Accesos | 1.454.038.042 | 1.759.022.589 | 1.889.076.222 | 1.947.633.255 | 2.011.984.994 |
| Sistema remoto de Aforos | 70.091.802 | 70.091.802 | 70.091.802 | 70.091.802 | 70.091.802 |
| **Costo Directo Calidad Agua Actual** | **17.366.145.844** | **20.670.440.703** | **22.008.883.986** | **23.661.455.402** | **26.118.986.983** |
| **GG. y Utilidades, Imprevistos y Contingencia (45%)** | **7.814.765.630** | **9.301.698.316** | **9.903.997.794** | **10.647.654.931** | **11.753.544.142** |
| **Total Neto Calidad Agua Actual** | **25.180.911.474** | **29.972.139.019** | **31.912.881.780** | **34.309.110.333** | **37.872.531.125** |
| **Precios Sociales** | | | | | |
| Costo Muro y Obras Anexas | 13.605.978.561 | 15.784.651.565 | 16.864.272.008 | 18.170.409.324 | 20.502.436.478 |
| Costo Directo Total Acueductos Calidad Actual | 1.684.698.786 | 2.420.068.938 | 2.629.479.223 | 2.961.739.804 | 2.961.739.804 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 62.337.026 | 62.337.026 | 62.337.026 | 62.337.026 | 62.337.026 |
| Construcción de caminos: Variantes de Camino y Accesos | 1.334.775.762 | 1.613.967.821 | 1.733.194.950 | 1.786.799.825 | 1.845.709.349 |
| sistema remoto de Aforos | 60.750.930 | 60.750.930 | 60.750.930 | 60.750.930 | 60.750.930 |
| **Costo Directo Calidad Agua Actual** | **16.748.541.065** | **19.941.776.280** | **21.350.034.136** | **23.042.036.909** | **25.432.973.587** |
| **GG. y Utilidades, Imprevistos y Contingencia (45%)** | **7.536.843.479** | **8.973.799.326** | **9.607.515.361** | **10.368.916.609** | **11.444.838.114** |
| **Total Neto Calidad Agua Actual** | **24.285.384.545** | **28.915.575.606** | **30.957.549.497** | **33.410.953.517** | **36.877.811.701** |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 9.2.7-2
## RESUMEN DE COSTOS POR CAPACIDAD DE EMBALSE ALT2
## TOTAL NETO; INCLUYE GG, UTILIDADES Y CONTINGENCIAS (45%)

| DESCRIPCIÓN | Volumen Útil ($hm^3$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| **Precio de Mercado** | | | | | |
| Costo Muro y Obras Anexas | 15.442.129.378 | 18.002.302.043 | 20.687.155.989 | 23.177.706.955 | 24.383.455.496 |
| Costo Directo Total Acueductos Calidad Actual | 1.693.154.309 | 2.428.524.461 | 2.637.934.746 | 2.970.195.327 | 2.970.195.327 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 67.531.778 | 67.531.778 | 67.531.778 | 67.531.778 | 67.531.778 |
| Construcción de caminos: Variantes de Camino y Accesos | 1.608.642.513 | 1.908.562.569 | 2.133.761.412 | 2.259.110.060 | 2.333.831.274 |
| Sistema remoto de Aforos | 70.091.802 | 70.091.802 | 70.091.802 | 70.091.802 | 70.091.802 |
| **Costo Directo Calidad Agua Actual** | **18.881.549.781** | **22.477.012.654** | **25.596.475.726** | **28.544.635.923** | **29.825.105.677** |
| **GG. y Utilidades, Imprevistos y Contingencia (45%)** | **8.496.697.401** | **10.114.655.694** | **11.518.414.077** | **12.845.086.165** | **13.421.297.555** |
| **Total Neto Calidad Agua Actual** | **27.378.247.182** | **32.591.668.349** | **37.114.889.803** | **41.389.722.088** | **43.246.403.231** |
| **Precios Sociales** | | | | | |
| Costo Muro y Obras Anexas | 14.870.682.572 | 17.387.865.174 | 20.010.812.121 | 22.466.948.419 | 23.692.096.111 |
| Costo Directo Total Acueductos Calidad Actual | 1.684.698.786 | 2.420.068.938 | 2.629.479.223 | 2.961.739.804 | 2.961.739.804 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 62.337.026 | 62.337.026 | 62.337.026 | 62.337.026 | 62.337.026 |
| Construcción de caminos: Variantes de Camino y Accesos | 1.477.047.634 | 1.751.226.355 | 1.957.003.022 | 2.071.750.958 | 2.140.153.012 |
| sistema remoto de Aforos | 60.750.930 | 60.750.930 | 60.750.930 | 60.750.930 | 60.750.930 |
| **Costo Directo Calidad Agua Actual** | **18.155.516.949** | **21.682.248.423** | **24.720.382.321** | **27.623.527.136** | **28.917.076.882** |
| **GG. y Utilidades, Imprevistos y Contingencia (45%)** | **8.169.982.627** | **9.757.011.790** | **11.124.172.044** | **12.430.587.211** | **13.012.684.597** |
| **Total Neto Calidad Agua Actual** | **26.325.499.575** | **31.439.260.214** | **35.844.554.365** | **40.054.114.347** | **41.929.761.480** |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 9.2.7-3
## RESUMEN DE COSTOS POR CAPACIDAD DE EMBALSE ALT3
## TOTAL NETO; INCLUYE GG, UTILIDADES Y CONTINGENCIAS (45%)

| DESCRIPCIÓN | Volumen Útil ($hm^3$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| **Precio de Mercado** | | | | | |
| Costo Muro y Obras Anexas | 16.521.223.771 | 18.188.751.411 | 18.935.813.861 | 21.430.880.175 | 23.199.449.011 |
| Costo Directo Total Acueductos Calidad Actual | 1.693.154.309 | 2.428.524.461 | 2.637.934.746 | 2.970.195.327 | 2.970.195.327 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 67.531.778 | 67.531.778 | 67.531.778 | 67.531.778 | 67.531.778 |
| Construcción de caminos: Variantes de Camino y Accesos | 1.867.903.426 | 2.039.729.973 | 2.392.717.340 | 2.479.027.967 | 2.516.541.066 |
| sistema remoto de Aforos | 70.091.802 | 70.091.802 | 70.091.802 | 70.091.802 | 70.091.802 |
| **Costo Directo Calidad Agua Actual** | **20.219.905.087** | **22.794.629.425** | **24.104.089.526** | **27.017.727.049** | **28.823.808.983** |
| **GG. y Utilidades, Imprevistos y Contingencia (45%)** | **9.098.957.289** | **10.257.583.241** | **10.846.840.287** | **12.157.977.172** | **12.970.714.042** |
| **Total Neto Calidad Agua Actual** | **29.318.862.376** | **33.052.212.666** | **34.950.929.813** | **39.175.704.221** | **41.794.523.026** |
| **Precios Sociales** | | | | | |
| Costo Muro y Obras Anexas | 15.837.178.664 | 17.545.514.341 | 18.297.767.590 | 20.784.785.108 | 22.536.574.745 |
| Costo Directo Total Acueductos Calidad Actual | 1.684.698.786 | 2.420.068.938 | 2.629.479.223 | 2.961.739.804 | 2.961.739.804 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 62.337.026 | 62.337.026 | 62.337.026 | 62.337.026 | 62.337.026 |
| Construcción de caminos: Variantes de Camino y Accesos | 1.715.099.728 | 1.872.017.784 | 2.194.775.923 | 2.273.787.276 | 2.308.127.899 |
| sistema remoto de Aforos | 60.750.930 | 60.750.930 | 60.750.930 | 60.750.930 | 60.750.930 |
| **Costo Directo Calidad Agua Actual** | **19.360.065.134** | **21.960.689.019** | **23.245.110.692** | **26.143.400.143** | **27.929.530.403** |
| **GG. y Utilidades, Imprevistos y Contingencia (45%)** | **8.712.029.310** | **9.882.310.059** | **10.460.299.811** | **11.764.530.064** | **12.568.288.682** |
| **Total Neto Calidad Agua Actual** | **28.072.094.444** | **31.842.999.078** | **33.705.410.503** | **37.907.930.207** | **40.497.819.085** |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 9.2.7-4
## RESUMEN DE COSTOS POR CAPACIDAD DE EMBALSE CALIDAD MEJORADA
## TOTAL NETO; INCLUYE GG, UTILIDADES Y CONTINGENCIAS (45%)

| DESCRIPCIÓN | Volumen Útil ($hm^3$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| **Precio de Mercado** | | | | | |
| ALT1 | 40.558.362.012 | 49.731.357.498 | 54.791.825.948 | 58.367.145.268 | 63.163.767.364 |
| ALT2 | 42.755.697.719 | 52.350.886.828 | 59.993.833.972 | 65.447.757.023 | 68.537.639.470 |
| ALT3 | 44.696.312.913 | 52.811.431.145 | 57.829.873.982 | 63.233.739.156 | 67.085.759.264 |
| **Precios Sociales** | | | | | |
| ALT1 | 39.664.179.947 | 48.676.138.949 | 53.837.838.530 | 57.470.333.317 | 62.170.392.804 |
| ALT2 | 41.704.294.977 | 51.199.823.557 | 58.724.843.398 | 64.113.494.147 | 67.222.342.583 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ALT3 | 43.450.889.846 | 51.603.562.421 | 56.585.699.536 | 61.967.310.007 | 65.790.400.188 |

**Nota:** UF Dic 2003: $ 16.920 UF 1 Ene 2014: $ 23.312,57

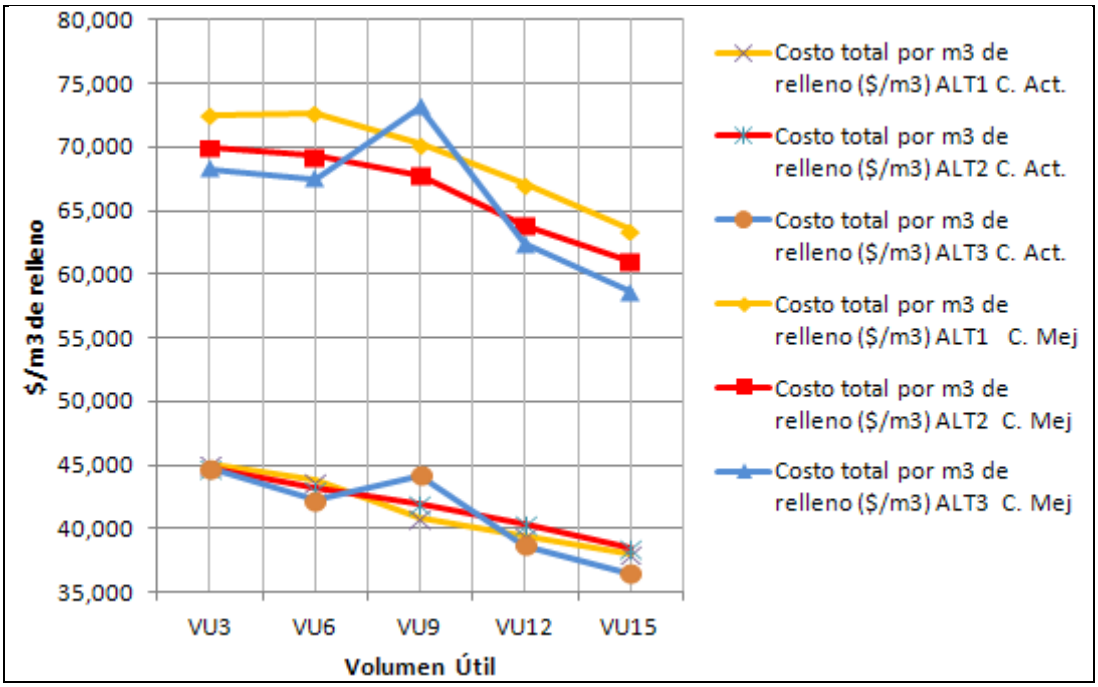
Fuente: Elaboración propia.

En promedio los costos del escenario con calidad de agua mejorada son un 68%, 60% y 61% más elevados que los costos del escenario con calidad actual tanto para precios de mercado como para precios sociales (Sitios ALT1, ALT2 y ALT3 respectivamente), dicho incremento es consecuencia del costo por tratar el agua con la planta de Osmosis Inversa.

El sitio más económico es el ALT1 para todo el rango de volúmenes analizados, lo sigue el sitio ALT3, con excepción de volúmenes útiles menores a los 6 $hm^3$, y resulta más costoso el sitio ALT2.

Se calcularon además indicadores Costo Total vs. Volumen de relleno y Costo Total vs. Volumen Embalsado los cuales se presentan en las Figuras 12.2.7-1 y 12.2.7-2. En la primera Curva se aprecia que mientras mayor es el relleno necesario el costo unitario disminuye, con excepción de Volumen útil de 9 $hm^3$ para la ALT3 en donde se observa un aumento del índice. Respecto al segundo indicador se observa que el metro cúbico de agua más económico corresponde siempre al sitio ALT1 manteniendo su precio bajo los 2.500 $\$/m^3$ para volúmenes útiles entre los 6 y 15 $hm^3$ sin una mejora de la calidad del agua y bajo los 4.400 $\$/m^3$ (4.300 $\$/m^3$ para precios sociales) si se considera el tratamiento de las aguas. La menos rentable corresponde a la alternativa ALT2.

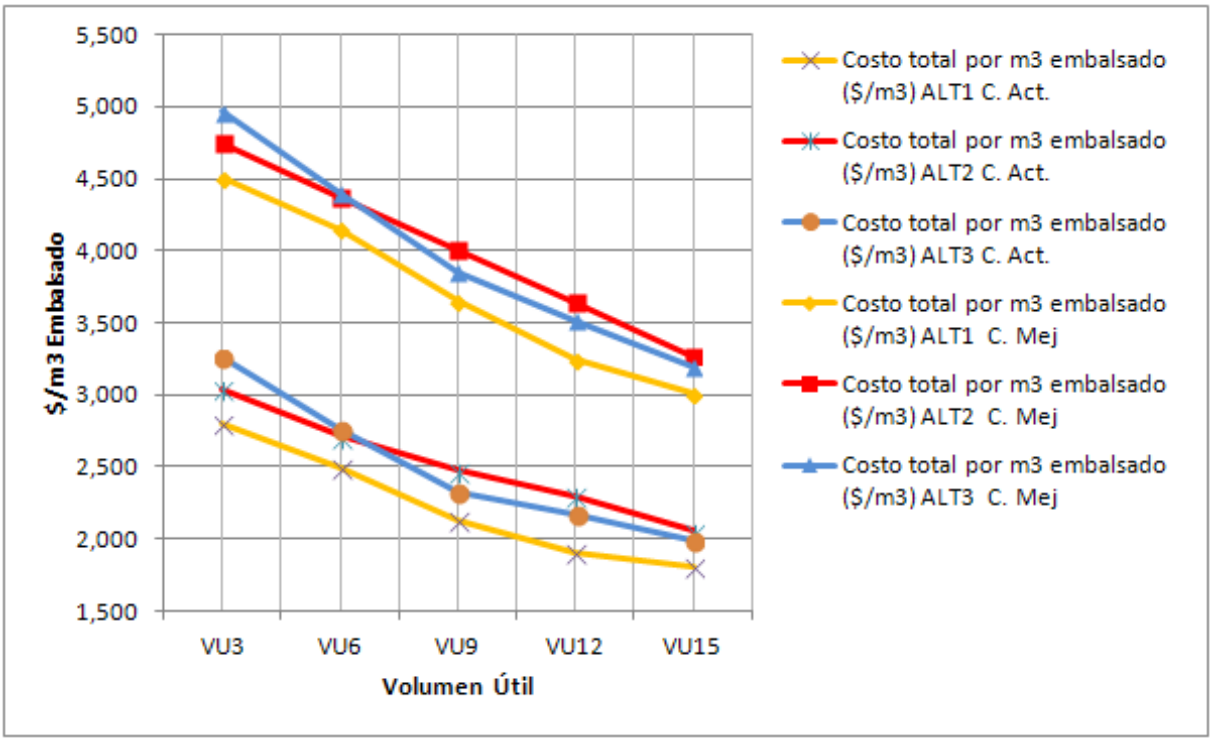
**FIGURA 9.2.7-1**
**CURVA COSTO TOTAL VS m³ DE RELLENO**
**(PRECIOS DE MERCADO)**




Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 9.2.7-2**

**CURVA COSTO TOTAL VS m³ EMBALSADO**
**(PRECIOS DE MERCADO)**




Fuente: Elaboración propia

# 10. ANÁLISIS DE PERTINENCIA DEL EMBALSE DE CONTROL

## *10.1. Descripción de lA METODOLOGÍA GENERAL DE CÁLCULO*

### 10.1.1. Generalidades

Tal como se indica en los TR, la Ley 20304 "Sobre Operación de Embalses Frente a Alertas y Emergencias de Crecidas y Otras Medidas", define como embalse de control, a todo embalse que contribuya a la regulación de las crecidas, declarado como tal por la Dirección General de Aguas. Para calificarlo como de control, la DGA deberá considerar, entre otras características, el volumen de regulación del respectivo embalse y la localización de éste respecto de la cuenca hidrográfica, y que aquél permita regular las crecidas de los caudales de agua, con el objetivo de evitar o mitigar las situaciones de peligro para la vida, la salud o los bienes de la población.

Por lo anterior, en esta Consultoría se evaluará la pertinencia de considerar este embalse como un embalse de control, para lo cual se analizará la capacidad de mitigación de las crecidas. Esto se hará analizando la capacidad de regulación del embalse estudiado, la cercanía a lugares habitados y la vulnerabilidad de los sectores aguas abajo del embalse, tal

que permita, durante las crecidas, evitar o mitigar los riesgos para la vida, la salud o los bienes públicos y privados

Como consideraciones generales de los efectos reguladores en embalses se puede mencionar los siguientes aspectos (Stowhas, Seminario Embalses 2010):

- Los embalses no agravan el impacto de las crecidas naturales.
- Los embalses con vertederos no controlados, siempre mitigarán la magnitud de los caudales máximos de crecidas, y eventualmente también su volumen.
- Los embalses con vertederos controlados por compuertas siguen leyes de operación que, salvo errores garrafales, de los cuales afortunadamente no existen antecedentes históricos, también mitigarán la magnitud de los caudales máximos y de los volúmenes de crecidas, o en el peor caso, resultarán neutros.
- La intervención de reservorios naturales si puede agravar el impacto de las crecidas naturales.

En lo que sigue, se presenta la metodología de análisis del paso de las crecidas.

### 10.1.2. Procedimiento de Cálculo

Las ecuaciones para simular el paso de una crecida por un embalse con vertedero libre o sin control son las siguientes:

(1) $Q_{EF} = m \cdot L \cdot h\sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ ; $g, m, l \; son \; constantes$

(2) $Vol_{final} = Vol_{inicial}(t) + Q_{AF}(t) \cdot \Delta t - Q_{EF}(t) \cdot \Delta t$

(3) $h = f(Vol)$ ; $curva \; de \; embalse$

La ecuación (1) representa la curve de descarga del vertedero, la cual permite obtener el caudal medio de salida, en donde:

$Q_{EF}$: $caudal \; de \; salida \; [m^3/s]$

$L$: $ancho \; del \; vertedero \; [m]$

$h$: $altura \; de \; agua \; del \; embalse \; sobre \; la \; cota \; del \; vertderero \; [m]$

$m$: $coeficiente \; de \; gasto, que \; depende \; del \; tipo \; de \; vertedero$

La ecuación (2), corresponde a la ecuación de balance, y representa el volumen del embalse en el tiempo *"$t$"* en donde:

$Q_{AF}(t)$: $hidrograma \; de \; crecidas$

$\Delta t = 1 \cdot hora = 3600 \cdot s$

La ecuación (3), o curva de embalse, representa la altura del embalse en relación con el volumen almacenado.

La resolución del sistema de ecuaciones presentado corresponde a un proceso iterativo para cada intervalo de tiempo. Una de las formas de resolverlo corresponde al método de Goodrich.

Como estas ecuaciones no son lineales se debe usar un método iterativo para poder resolverlos, el procedimiento es el explicado a continuación.

### 10.1.2.1. Método de Balance

Se realizó un balance según la expresión de Goodrich para rastreo de crecida en embalses sin compuertas, que se define a continuación:

$$\frac{2 \cdot S_{i+1}}{\Delta t} + Q_{i+1} = I_i + I_{i+1} + \left(\frac{2 \cdot S_i}{\Delta t} - Q_i\right)$$

Donde:
$I_i$ = Caudal de Ingreso en el tiempo $i$ $[m^3/s]$
$I_{i+1}$ = Caudal de Ingreso en el tiempo $i+1$ $[m^3/s]$
$S_i$ = Volumen de almacenamiento en el tiempo $i$ $[m^3]$
$S_{i+1}$ = Volumen de almacenamiento en el tiempo $i+1$ $[m^3]$
$Q_i$ = Ingreso Entrada en el tiempo $i$ $[m^3/s]$
$Q_{i+1}$ = Ingreso Entrada en el tiempo $i+1$ $[m^3/s]$

### 10.1.2.2. Cálculo del Caudal de Salida del Embalse

Para generar la función almacenamiento-caudal lo primero que se debe hacer es calcular la diferencia entre la cota del embalse y la cota del vertedero hasta el valor máximo, es decir el coronamiento.
Con esa diferencia de cotas, que representa la altura de agua del embalse por sobre el nivel del vertedero se calcula el caudal de salida usando la ecuación (1), para cada una de ellas.
Luego se procede a calcular el valor de:

$$\frac{2 \cdot S}{\Delta t} + Q$$

en donde *"S"* es el almacenamiento del embalse, obtenido de las curvas de embalse, "$\Delta t$" el intervalo de tiempo considerado y *"Q"* el caudal de salida del vertedero.

### 10.1.2.3. Calculo de Función Almacenamiento-Caudal de Salida

El volumen en el tiempo "$i = 1$" corresponde a la diferencia entre el volumen máximo a nivel del vertedero y el volumen de regulación disponible. Para este análisis se ha considerado el caso más desfavorable que es cuando el volumen de regulación es cero, es decir, el embalse está completamente lleno.
Para calcular el caudal evacuado "$Q_{i+1}$" por el vertedero se necesita la altura de agua en el tiempo "$i$", la cual se calcula como sigue a continuación.
La altura de agua sobre el vertedero se calcula interpolando dando como conocido *"x"* el valor del resultado de "$I_i + I_{i+1} + \left(\frac{2 \cdot S_i}{\Delta t} - Q_i\right)$" en la función almacenamiento-caudal obtenida anteriormente.
Con el valor de la altura se calcula el caudal de salida con la ecuación (1). El volumen en el tiempo *"$i = i + 1$"* se determina usando la expresión:

$$S_{i+1} = \left(I_i + I_{i+1} + \left(\frac{2 \cdot S_i}{\Delta t} - Q_i\right) - Q_{i+1}\right) * \frac{\Delta t}{2}$$

### 10.1.3. Daño Evitado

Una vez procesado el caudal de descarga para todos los intervalos de tiempo, se obtiene el hidrograma efluente, el cual como se dijo, necesariamente incluye un caudal peak inferior al caudal peak de ingreso al embalse

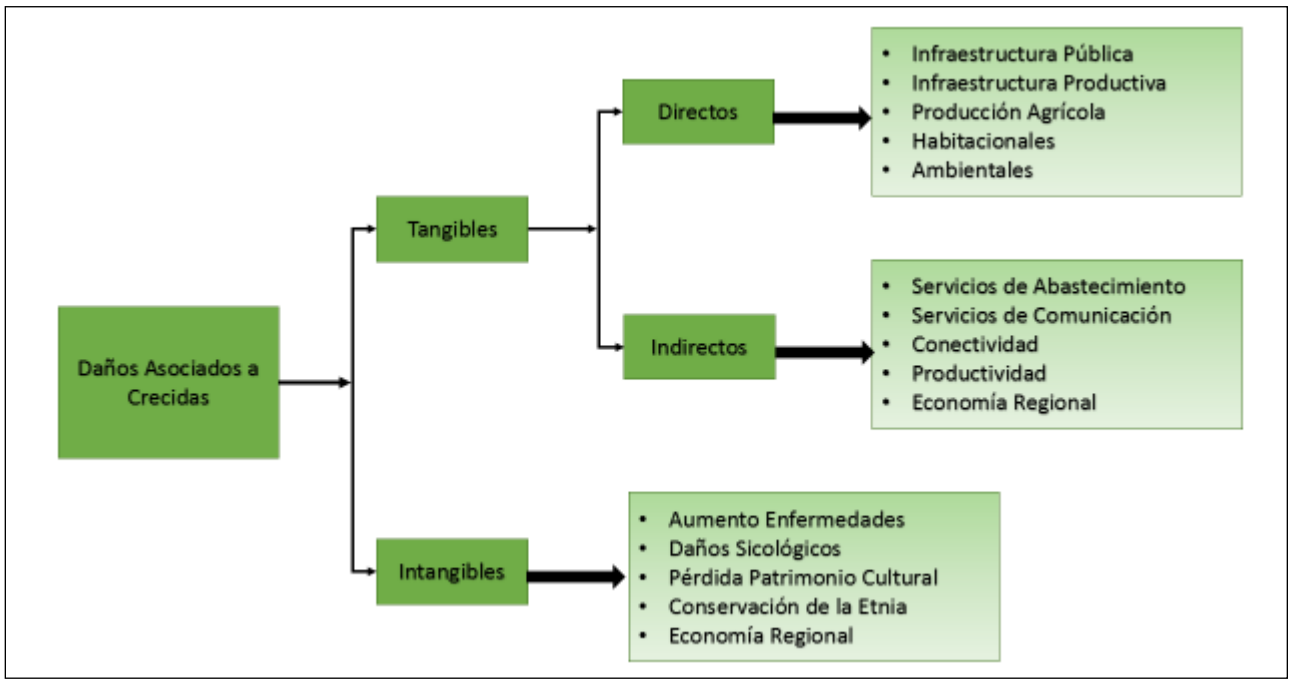
En consecuencia, el efecto regulador del embalse provocará que el cauce ubicado aguas abajo reciba un caudal menor, y por lo tanto los daños producidos para diferentes períodos de retorno serán menores. Esto ocurrirá aún cuando el embalse se encuentre lleno al momento de venir la crecida. Indudablemente, si el embalse no se encuentra lleno, porque las aguas para riego fueron ya entregadas, o porque se dispone de una capacidad adicional a la de riego, para recibir y controlar crecidas, el efecto reductor será mayor.

Ahora bien, la conveniencia de construir una obra de embalse con volúmenes adicionales para control de crecidas, como es el análisis que debe realizarse en el proyecto Embalse Pintanane, estará dada económicamente por una evaluación en la cual los costos serán los de mayor inversión y operación y mantenimiento correspondientes a las obras civiles, y los beneficios estarán dados por el "daño evitado" por la obra.

El daño evitado corresponde al daño anual esperado, y se calcula matemáticamente, elaborando en primer lugar una curva de daños vs caudales, que se aplica a los escenarios sin proyecto y con proyecto. Ello requiere de procesar el eje hidráulico para diferentes períodos de retorno, especialmente desde 2 años hasta 100 o 200 años, y evaluar las superficies inundadas y los daños que se pueden producir sobre esa base y otra información de daños históricos ocurridos. Los daños deben cubrir todo el espectro posible, incluyéndose daños directos y daños indirectos. En Figura 13.1.3-1 siguiente, se ilustra una amplia variedad de daños posibles de considerar.

**FIGURA 10.1.2.3-1**

**ESQUEMA DE DAÑOS ASOCIADOS A CRECIDAS**




Fuente: Elaboración propia.

Una vez recopilada y analizada toda la información disponible respecto los daños que producen las crecidas, se procede a elaborar sobre la base de las superficies inundadas, la curva de "daños vs. caudales".

Luego, es posible determinar para diferentes períodos de retorno, el daño ocasionado por la correspondiente crecida en situación actual. Al procesar el modelo de simulación de crecidas bajo diferentes escenarios de obras controladoras, se determina también para diferentes períodos de retorno el caudal y como consecuencia el daño ocasionado por cada crecida en escenario con proyecto.

La diferencia de daños entre los ocurridos en el escenario de situación actual y el escenario de situación con proyecto, corresponde al beneficio que se consigue de ese escenario de proyecto para ese período de retorno. Finalmente, la integración de la probabilidad de excedencia por el beneficio logrado, corresponde al beneficio anual esperado de la obra, o daño evitado, el cual se incluye en la planilla de evaluación económica, contrastándolo con sus costos de inversión, operación y mantenimiento.

## *10.2. calculos y resultados efecto regulador*

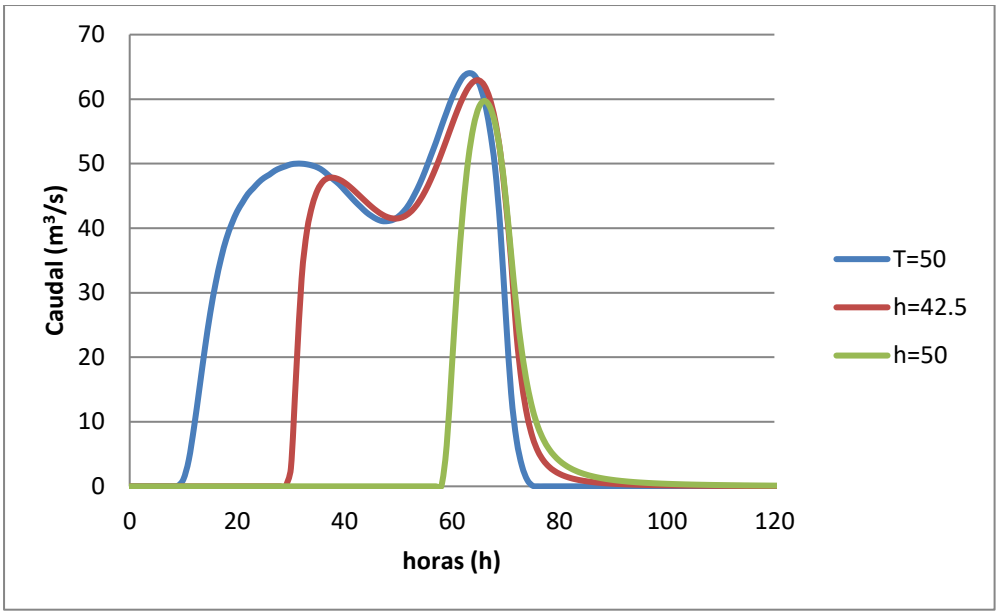
Utilizando la metodología descrita en el Acápite 7.1 se procedió a calcular el efecto regulador que tiene cada alternativa de embalse y para cada uno de los tamaños que se analizaron. Los resultados se presentan a continuación. Se consideró, para el análisis, que los volúmenes de los embalses en el momento inicial es igual al 20% de su capacidad.

### 10.2.1. Alternativa 1

### 10.2.1.1. Hidrogramas

Se presenta en la Figura 13.2.1.1-1 a la 13.2.1.1-3 los Hidrogramas de entrada y salida.

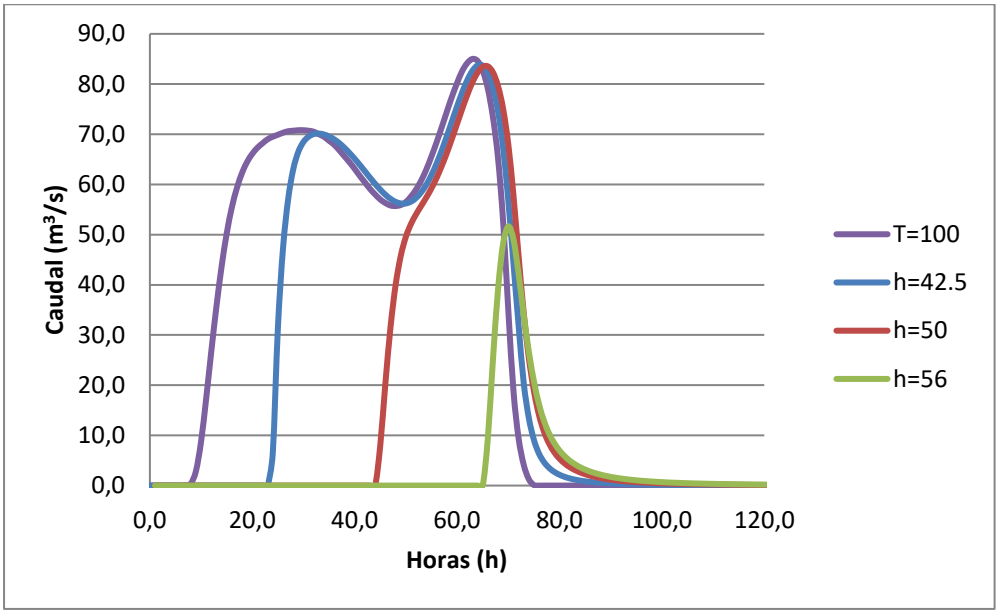
**FIGURA 10.2.1.1-1**
**HIDROGRAMAS DE ENTRADA - SALIDA T=50 ALTERNATIVA 1**




Los tamaños de h=50 y h=56 metros no se muestran ya que el Hidrograma de salida es 0 (cero)

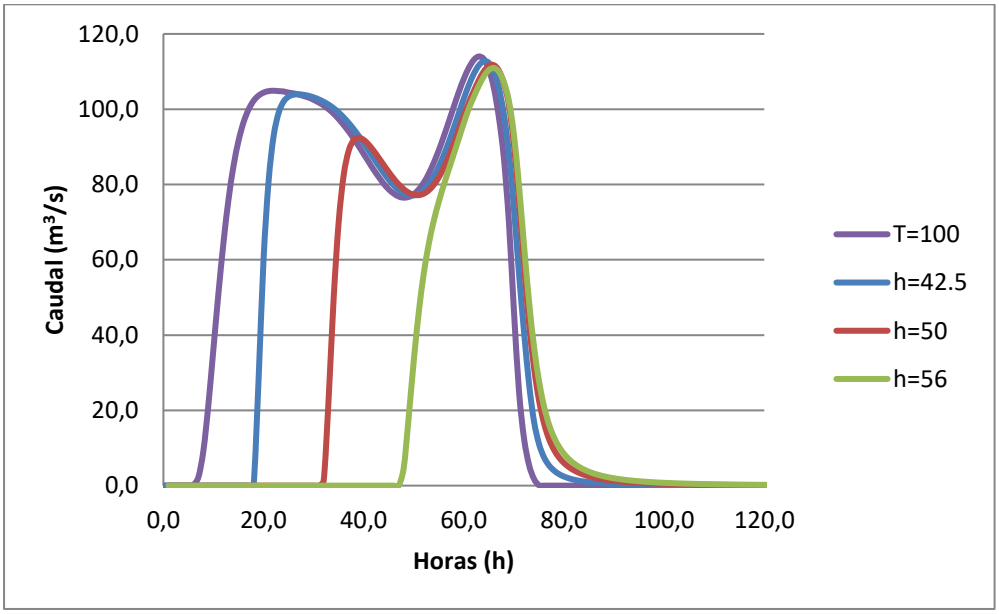
Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 10.2.1.1-2**
**HIDROGRAMAS DE ENTRADA - SALIDA T=100 ALTERNATIVA 1**




Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 10.2.1.1-3**
**HIDROGRAMAS DE ENTRADA - SALIDA T=200 ALTERNATIVA 1**




Fuente: Elaboración Propia

## 10.2.1.2. Volúmenes

Otro aspecto relevante es la cantidad de agua que retiene el embalse, durante la crecida. En el Cuadro 13.2.1.2-1 se presenta los resúmenes de volúmenes totales de entrada y de salida.

**CUADRO 10.2.1.2-1**
**VOLUMEN TOTAL ENTRADA Y SALIDA ALTERNATIVA 1**

| h=42,5 m (VU= 3 hm³) | T=5 | T=10 | T=20 | T=50 | T=100 | T=200 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen Entrada (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 13.969.800 | 20.430.360 |
| Volumen Salida (m³) | - | 658.570 | 3.061.416 | 7.314.059 | 11.451.875 | 17.912.411 |
| Volumen Retenido (m³) | 1.462.320 | 2.518.070 | 2.517.864 | 2.517.901 | 2.517.925 | 2.517.949 |
| **h=50 m (VU= 9 hm³)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| Volumen Entrada (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 13.969.800 | 20.430.360 |
| Volumen Salida (m³) | - | - | - | 2.553.568 | 6.691.326 | 13.151.807 |
| Volumen Retenido (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 7.278.392 | 7.278.474 | 7.278.553 |
| **h=56 m (VU= 15 hm³)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| Volumen Entrada (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 13.969.800 | 20.430.360 |
| Volumen Salida (m³) | - | - | - | - | 1.637.141 | 8.097.458 |
| Volumen Retenido (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 12.332.659 | 12.332.902 |

Fuente: Elaboración Propia

## 10.2.1.3. Duración de las Crecidas

Se presenta en el Cuadro 13.2.1.3-1 la duración de la tormenta, sin embalse y con embalse, y el desfase, en horas, de ésta.

**CUADRO 10.2.1.3-1**
**DURACION DE CRECIDA ALTERNATIVA 1**

| h=42,5 m (VU= 3 hm3) | T=5 | T=10 | T=20 | T=50 | T=100 | T=200 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SIN EMBALSE (horas) | 50 | 58 | 62 | 64 | 66 | 68 |
| CON EMBALSE (horas) | 0 | 19 | 38 | 54 | 60 | 66 |
| Desfase (horas) | 0 | 47 | 33 | 20 | 16 | 13 |
| **h=50 m (VU= 9 hm3)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| SIN EMBALSE (horas) | 50 | 58 | 62 | 64 | 66 | 68 |
| CON EMBALSE (horas | 0 | 0 | 0 | 31 | 46 | 60 |
| Desfase (horas) | 0 | 0 | 0 | 49 | 36 | 25 |
| **h=56 m (VU= 15 hm3)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| SIN EMBALSE (horas) | 50 | 58 | 62 | 64 | 66 | 68 |
| CON EMBALSE (horas | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | 49 |
| Desfase (horas) | 0 | 0 | 0 | 0 | 57 | 41 |

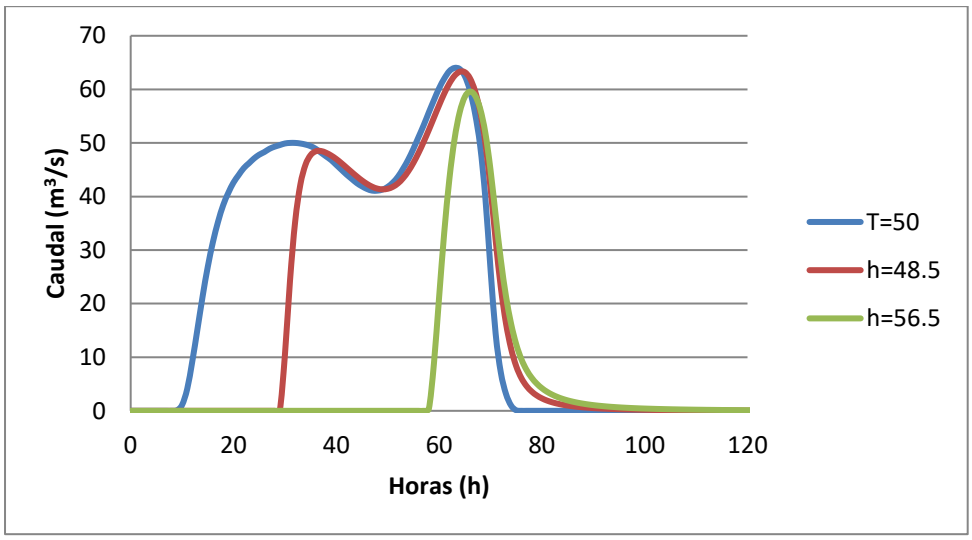
Fuente: Elaboración Propia

## 10.2.2. Alternativa 2

### 10.2.2.1. Hidrogramas

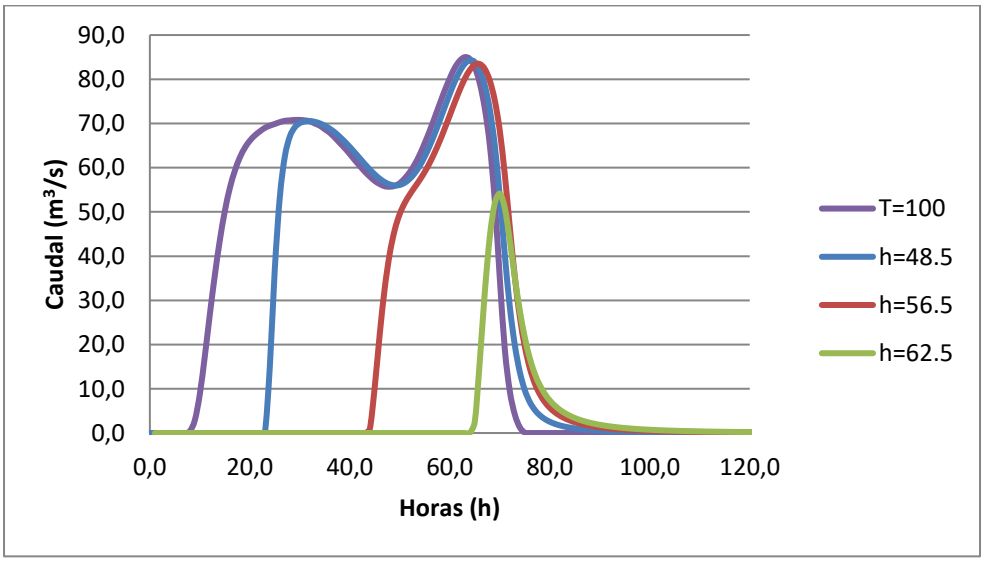
Se presenta en la Figura 13.2.2.1-1 a la 13.2.2.1-3 los Hidrogramas de entrada y salida.

**FIGURA 10.2.2.1-1**
**HIDROGRAMAS DE ENTRADA - SALIDA T=50 ALTERNATIVA 2**



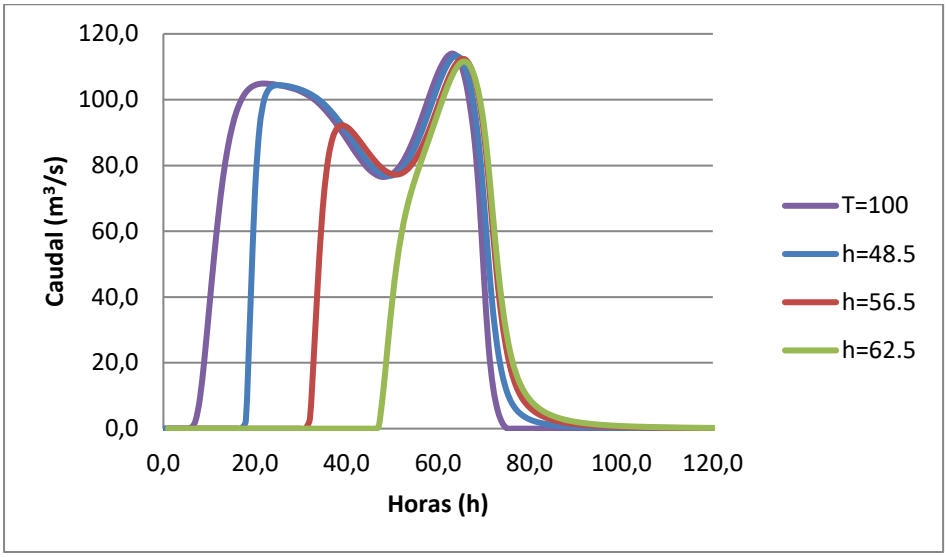

Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 10.2.2.1-2**
**HIDROGRAMAS DE ENTRADA - SALIDA T=100 ALTERNATIVA 2**




Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 10.2.2.1-3**
**HIDROGRAMAS DE ENTRADA - SALIDA T=200 ALTERNATIVA 2**




Fuente: Elaboración Propia

## 10.2.2.2. Volúmenes

En el Cuadro 13.2.2.2-1 se presenta los resúmenes de volúmenes totales de entrada y de salida.

**CUADRO 10.2.2.2-1**
**VOLUMEN TOTAL ENTRADA Y SALIDA ALTERNATIVA 2**

| **h=48,5 m (VU= 3 hm³)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen Entrada (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 13.969.800 | 20.430.360 |
| Volumen Salida (m³) | - | 773.991 | 3.176.904 | 7.429.536 | 11.567.348 | 18.027.880 |
| Volumen Retenido (m³) | 1.462.320 | 2.402.649 | 2.402.376 | 2.402.424 | 2.402.452 | 2.402.480 |
| **h=56,5 m (VU= 9 hm³)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| Volumen Entrada (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 13.969.800 | 20.430.360 |
| Volumen Salida (m³) | - | - | - | 2.606.602 | 6.744.348 | 13.204.818 |
| Volumen Retenido (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 7.225.358 | 7.225.452 | 7.225.542 |
| **h=62,5 m (VU= 15 hm³)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| Volumen Entrada (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 13.969.800 | 20.430.360 |
| Volumen Salida (m³) | - | - | - | - | 1.780.739 | 8.241.041 |
| Volumen Retenido (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 12.189.061 | 12.189.319 |

Fuente: Elaboración Propia

## 10.2.2.3. Duración de las Crecidas

Se presenta en el Cuadro 13.2.2.3-1 la duración de la crecida, sin embalse y con embalse, y el desfase, en horas, de ésta.

**CUADRO 10.2.2.3-1**

**DURACION DE CRECIDA ALTERNATIVA 2**

| h=48,5 m (VU= 3 hm$^3$) | T=5 | T=10 | T=20 | T=50 | T=100 | T=200 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SIN EMBALSE (horas) | 50 | 58 | 62 | 64 | 66 | 68 |
| CON EMBALSE (horas | 0 | 22 | 42 | 55 | 70 | 68 |
| Desfase (horas) | 0 | 46 | 31 | 20 | 7 | 12 |
| **h=56,5 m (VU= 9 hm$^3$)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| SIN EMBALSE (horas) | 50 | 58 | 62 | 64 | 66 | 68 |
| CON EMBALSE (horas | 0 | 0 | 0 | 34 | 47 | 62 |
| Desfase (horas) | 0 | 0 | 0 | 48 | 37 | 25 |
| **h=62,5 m (VU= 15 hm$^3$)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| SIN EMBALSE (horas) | 50 | 58 | 62 | 64 | 66 | 68 |
| CON EMBALSE (horas | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 | 51 |
| Desfase (horas) | 0 | 0 | 0 | 0 | 56 | 40 |

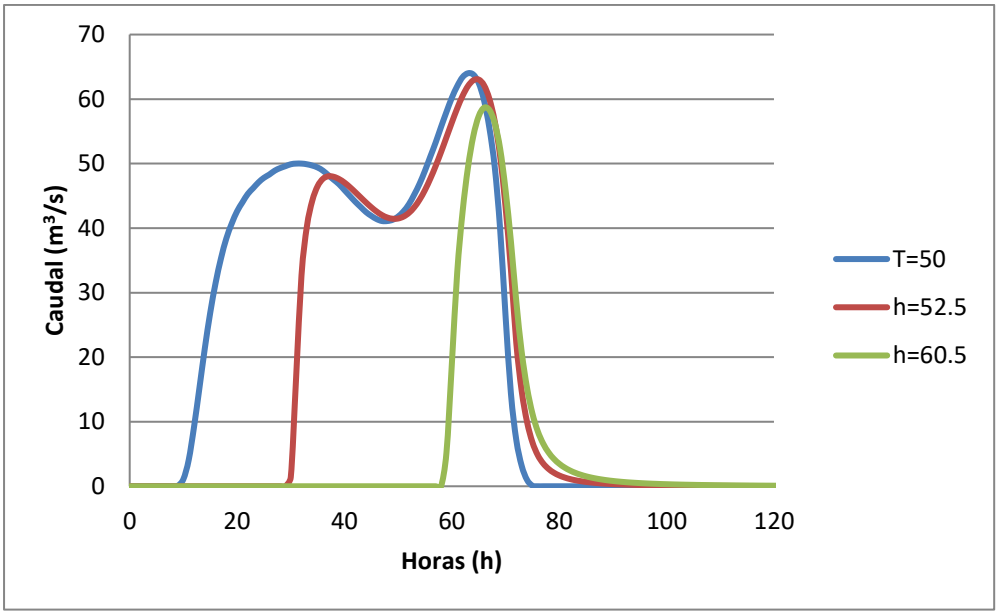
Fuente: Elaboración Propia

### 10.2.3. Alternativa 3

## 10.2.3.1. Hidrogramas

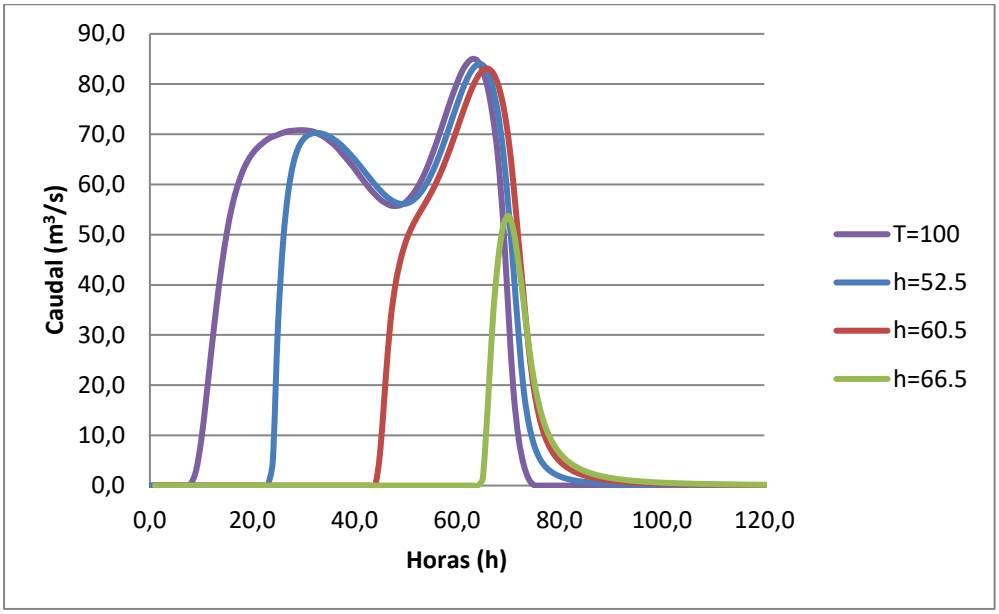
Se presenta en la Figura 13.2.3.1-1 a la 13.2.3.1-3 los Hidrogramas de entrada y salida.

**FIGURA 10.2.3.1-1**
**HIDROGRAMAS DE ENTRADA - SALIDA T=50 ALTERNATIVA 3**



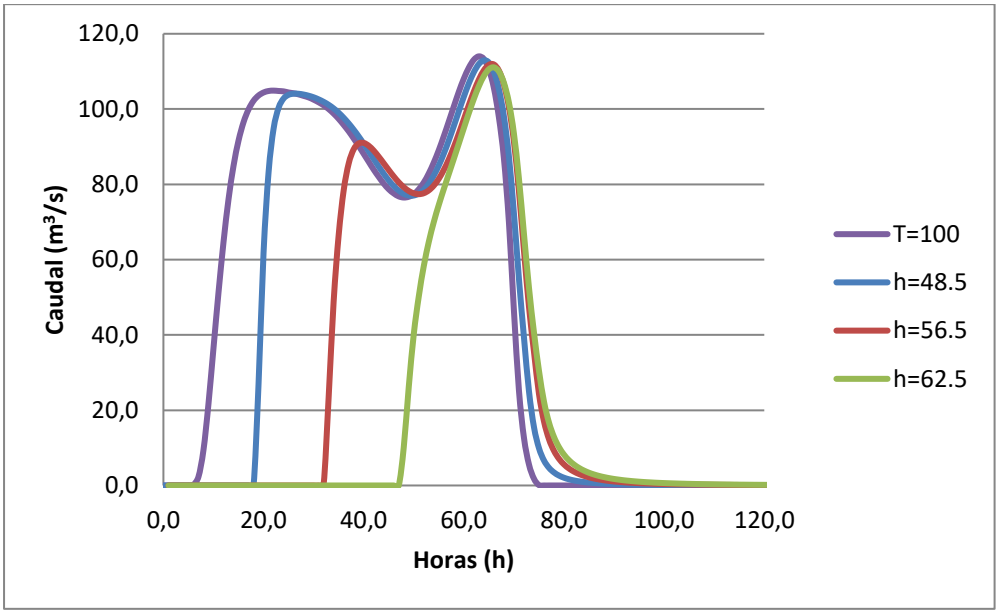

Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 10.2.3.1-2**
**HIDROGRAMAS DE ENTRADA - SALIDA T=100 ALTERNATIVA 3**




Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 10.2.3.1-3**
**HIDROGRAMAS DE ENTRADA - SALIDA T=200 ALTERNATIVA 3**




Fuente: Elaboración Propia

## 10.2.3.2. Volúmenes

En el Cuadro 13.2.3.2-1 se presenta los resúmenes de volúmenes totales de entrada y de salida.

**CUADRO 10.2.3.2-1**
**VOLUMEN TOTAL ENTRADA Y SALIDA ALTERNATIVA 3**

| h=52,5 m (VU= 3 hm³) | T=5 | T=10 | T=20 | T=50 | T=100 | T=200 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen Entrada (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 13.969.800 | 20.430.360 |
| Volumen Salida (m³) | - | 630.484 | 3.033.298 | 7.285.949 | 11.423.771 | 17.884.313 |
| Volumen Retenido (m³) | 1.462.320 | 2.546.156 | 2.545.982 | 2.546.011 | 2.546.029 | 2.546.047 |
| **h=60,5 m (VU= 9 hm³)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| Volumen Entrada (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 13.969.800 | 20.430.360 |
| Volumen Salida (m³) | - | - | - | 2.519.716 | 6.657.483 | 13.117.973 |
| Volumen Retenido (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 7.312.244 | 7.312.317 | 7.312.387 |
| **h=66,5 m (VU= 15 hm³)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| Volumen Entrada (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 13.969.800 | 20.430.360 |
| Volumen Salida (m³) | - | - | - | - | 1.733.427 | 8.193.760 |
| Volumen Retenido (m³) | 1.462.320 | 3.176.640 | 5.579.280 | 9.831.960 | 12.236.373 | 12.236.600 |

Fuente: Elaboración Propia

## 10.2.3.3. Duración de las Crecidas

Se presenta en el Cuadro 13.2.3.3-1 la duración de la crecida, sin embalse y con embalse, y el desfase, en horas, de ésta.

**CUADRO 10.2.3.3-1**
**DURACION DE CRECIDA ALTERNATIVA 3**

| h=52,5 m (VU= 3 hm³) | T=5 | T=10 | T=20 | T=50 | T=100 | T=200 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SIN EMBALSE (horas) | 50 | 58 | 62 | 64 | 66 | 68 |
| CON EMBALSE (horas | 0 | 18 | 37 | 53 | 59 | 57 |
| Desfase (horas) | 0 | 48 | 33 | 20 | 16 | 21 |
| **h=60,5 m (VU= 9 hm³)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| SIN EMBALSE (horas) | 50 | 58 | 62 | 64 | 66 | 68 |
| CON EMBALSE (horas | 0 | 0 | 0 | 30 | 45 | 60 |
| Desfase (horas) | 0 | 0 | 0 | 49 | 36 | 25 |
| **h=66,5 m (VU= 15 hm³)** | **T=5** | **T=10** | **T=20** | **T=50** | **T=100** | **T=200** |
| SIN EMBALSE (horas) | 50 | 58 | 62 | 64 | 66 | 68 |
| CON EMBALSE (horas | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 48 |
| Desfase (horas) | 0 | 0 | 0 | 0 | 56 | 41 |

Fuente: Elaboración Propia

## 10.2.4. Comentarios

Luego del análisis y los resultados obtenidos referentes al efecto regulador del embalse se puede indicar lo siguiente:

- El efecto regulador es mínimo cuando la capacidad del embalse es igual a un volumen útil de 3 $hm^3$.
- El embalse permite atenuar la duración de la crecida en gran medida para periodos de retorno menores o iguales a T=50 y en ocasiones amortiguarla por completo. Sin embargo, se mantiene el caudal peak.
- Para periodos de T=100 y T=200 años no se percibe el efecto de regulación del embalse.

## *10.3. CASO DEL EMBALSE PINTANANE*

Se puede observar en la Figura 13.1.3-1, que el caso del embalse Pintanane no presentaría daños correspondientes a una gran cantidad de los ítems posibles, dada su ubicación en una cuenca desértica, prácticamente no habitada, sin mayor infraestructura, y en cuyo valle ya se perdieron los principales terrenos agrícolas a causa de anteriores crecidas. En consecuencia, se considera que no es un caso muy atractivo para invertir en control de crecidas. Se intentará demostrar esto mediante un análisis que en todos los casos se aplicarán cifras a favor de su conveniencia. Si a pesar de estas cifras no resulta rentable, es posible descartar este uso de inmediato.

La quebrada de Aroma ha presentado situaciones históricas de eventos de crecidas que han ocasionado daños significativos, pero cuyo carácter de irreversibles en términos prácticos, ya no pueden ser considerados para futuras evaluaciones. Esto se refiere a la gran cantidad de suelos agrícolas del valle de la quebrada de Aroma, erosionados y arrastrados, que hoy en día su recuperación tiene un costo inviable. Además, si bien las mayores crecidas produjeron daños en las instalaciones militares, hoy en día ya se han construido las obras de defensa necesarias para protegerse de futuras crecidas de magnitudes al menos como las ya ocurridas.

En realidad, la información existente es bastante precaria y no se dispone de los elementos ni información suficiente para elaborar ejes hidráulicos y calcular superficies inundadas, etc. No obstante, siempre es posible efectuar una primera estimación, de baja precisión en todo caso, de los daños que podrían ocurrir ante diferentes magnitudes de crecidas.

Además de los daños posibles de identificar en relación a lo ocurrido históricamente, se considera pertinente considerar eventuales pérdidas de vidas humanas ante eventos de envergadura mayor, como las crecidas de 100 años de período de retorno hacia arriba. Se considerará la eventual pérdida de una persona ante eventos de 100 y 200 años de período de retorno, dos personas ante eventos de 1.000 años de período de retorno, y de 3 personas para 10.000 años de período de retorno.

Para valorar la muerte de una persona, se aplicará la metodología basada en estimar lo que deja de producir, a través de su sueldo, aumentado por un factor de 3 para considerar que la vida de una persona tiene una serie de componentes adicionales no tangibles, incluso el valor sentimental. De acuerdo con las características de la gente que habita el valle, se considerará que las personas que perderán su vida aún les queda en promedio 25 años de productividad económica. El sueldo será de 300.000 pesos mensuales, o sea, 3.600.000 al año, lo que en 25 años da un valor de 90 millones de pesos y aplicando el factor se llega a la cifra de 270 millones por persona.

En el Cuadro 13.3-1, se indican los tipos de daños y valoración que se ha supuesto en la situación actual:

**CUADRO 10.3-1**
**DAÑOS ESTIMADOS EN SITUACIÓN ACTUAL**

| Periodo de Retorno | Daño que se Produce | Valor Asignado ($) |
|---|---|---|
| 2 años | Pérdida de barreras captación canales | **20.000** |
| 5 años | Pérdida de barreras captación canales | **60.000** |
| 10 años | Pérdida de barreras captación canales | **100.000** |
| 20 años | Pérdida de barreras captación canales | **200.000** |
| 50 años | Pérdida de barreras captación canales<br>Corta de ruta 5, 5 m<br>Corta camino a Colchane, 10 m<br>Pérdida captación y 10 m tubería<br>**TOTAL:** | 300.000<br>5.000.000<br>600.000<br>800.000<br>**6.700.000** |
| 100 años | Pérdida de barreras captación canales<br>Corta de ruta 5, 20 m<br>Corta camino a Colchane, 20 m<br>Pérdida captación y 50 m tubería<br>Pérdida de una vida humana<br>**TOTAL:** | 400.000<br>20.000.000<br>1.200.000<br>800.000<br>270.000.000<br>**292.400.000** |
| 200 años | Pérdida de barreras captación canales<br>Corta de ruta 5, 30 m<br>Corta camino a Colchane, 30 m<br>Socavaciones puente camino Colchane<br>Pérdida captación y 100 m tubería<br>Pérdida por erosión de 15 ha<br>Reparación daños en base militar<br>Pérdida de una vida humana<br>**TOTAL:** | 500.000<br>30.000.000<br>1.800.000<br>3.000.000<br>1.300.000<br>30.000.000<br>3.000.000<br>270.000.000<br>**339.600.000** |
| 1.000 años | Pérdida de barreras captación canales<br>Corta de ruta 5, 50 m<br>Corta camino a Colchane, 40 m<br>Construcción puente camino Colchane<br>Pérdida captación y 200 m tubería<br>Pérdida por erosión de 25 ha<br>Reparación daños en base militar<br>Pérdida de dos vidas humanas<br>**TOTAL:** | 600.000<br>50.000.000<br>2.400.000<br>90.000.000<br>2.300.000<br>50.000.000<br>10.000.000<br>540.000.000<br>**745.300.000** |
| 10.000 años | Pérdida de barreras captación canales<br>Corta de ruta 5, 200 m<br>Corta camino a Colchane, 50 m<br>Construcción puente camino Colchane<br>Pérdida captación y 300 m tubería<br>Pérdida por erosión de 34 ha<br>Reparación daños en base militar<br>Pérdida de tres vidas humanas<br>**TOTAL:** | 800.000<br>200.000.000<br>3.000.000<br>100.000.000<br>3.300.000<br>68.000.000<br>20.000.000<br>810.000.000<br>**1.205.100.000** |

Fuente: Elaboración Propia

Con los valores totales de daños para cada período de retorno, es posible calcular el daño esperado en situación actual, lo que se realiza en el Cuadro 13.3-2. En este Cuadro, se extrapoló linealmente el daño para Pexc = 0, y se adoptó un daño nulo para Pexc =1.

**CUADRO 10.3-2**
**DETERMINACIÓN DAÑO ESPERADO EN SITUACIÓN ACTUAL**

| T (años) | Pexc | Daño ($) | Integral Daño ($) |
|---|---|---|---|
| | 1 | 0 | 5.000 |
| 2 | 0,5 | 20.000 | 12.000 |
| 5 | 0,2 | 60.000 | 8.000 |
| 10 | 0,1 | 100.000 | 7.500 |
| 20 | 0,05 | 200.000 | 103.500 |
| 50 | 0,02 | 6.700.000 | 1.495.500 |
| 100 | 0,01 | 292.400.000 | 1.580.000 |
| 200 | 0,005 | 339.600.000 | 2.169.800 |
| 1000 | 0,001 | 745.300.000 | 877.680 |
| 10000 | 0,0001 | 1.205.100.000 | 123.064 |

Daño Anual Esperado ($) 6.382.044

Fuente: Elaboración Propia

Ahora bien, para evaluar el daño en la situación con proyecto, se supondrá que el embalse permitirá "reducir" en un nivel los daños del Cuadro 13.3-2, es decir, por ejemplo, los daños que sin proyecto se tenían para T=50 años, en la situación con proyecto se tendrán para T=100 años. Esta situación es demasiado conservadora, en el sentido que se requeriría de un gran volumen de embalse para controlar de esa forma las crecidas. El resultado del cálculo se entrega en Cuadro 13.3-3.

**CUADRO 10.3-3**
**DETERMINACIÓN DAÑO ESPERADO EN SITUACIÓN CON PROYECTO**

| T (años) | Pexc | Daño ($) | Integral Daño ($) |
|---|---|---|---|
| | 1 | 0 | |
| 2 | 0,5 | 0 | 2 |
| 5 | 0,2 | 20.000 | 5 |
| 10 | 0,1 | 60.000 | 10 |
| 20 | 0,05 | 100.000 | 20 |
| 50 | 0,02 | 200.000 | 50 |
| 100 | 0,01 | 6.700.000 | 100 |
| 200 | 0,005 | 292.400.000 | 200 |
| 1000 | 0,001 | 339.600.000 | 1000 |
| 10000 | 0,0001 | 745.300.000 | 10000 |

Daño Anual Esperado ($) 2.606.975

Fuente: Elaboración Propia

En consecuencia, el daño matemáticamente esperado en situación actual es la cantidad de $6.382.044 al año, y en la situación con proyecto es de $2.606.975 al año. O sea, el daño anual evitado por el proyecto alcanza la cantidad de $3.775.069 al año.

Si la cifra anterior se lleva a un cuadro de evaluación económica, con una tasa de descuento social de 6%, suponiendo la inversión en la presa en el año 3 (los dos primeros años se construye la presa de riego y en el año 3 se concluye con la mayor capacidad para control de crecidas), el valor actualizado del beneficio de la obra (serie anual a partir del año 4 por 30 años), es de $41.872.388.

La cifra anterior debería ser como máximo el valor actualizado de la inversión en el embalse para que el proyecto resulte rentable, lo que es imposible de lograr, por mucho que se afinen las cifras de daños. Queda así demostrado, que el uso adicional del embalse para control de crecidas no es conveniente en el valle de la quebrada de Aroma.

# 11. interferencias y expropiaciones

## *11.1. interferencias*

La interferencia que se debe considerar para los sitios de embalse seleccionados es la reposición de la ruta A-459, en el tramo que se verá afectado por el área de inundación del embalse.

### 11.1.1. Modificación Ruta A-459

Debido a que el área de inundación del embalse afectaría parte de la ruta regional primaria A-459 existente que permite el acceso a la localidad de Aroma entre otras, se realizó un trazado alternativo a una cota mayor que la de inundación,. Las longitudes de los caminos proyectados para cada tamaño de embalse analizado se indican en el Cuadro 14.1.1-1.

**CUADRO 11.1.1-1**
**LONGITUD VARIANTE DE CAMINO**

| Sitio Alternativo de Muro | Volumen Útil ($hm^3$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| ALT1 | 563 | 1.563 | 1.975 | 2.167 | 2.378 |
| ALT2 | 0 | 967 | 1.689 | 2.100 | 2.345 |
| ALT3 | 0 | 547 | 1.688 | 1.971 | 2.094 |

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que para volumenes útiles de 3 $hm^3$ los sitios ALT2 y ALT3 no presentan interferencias, ya que la zona de inundación queda por debajo de la ruta A-459.

A modo de ejemplo, en los planos CAM-PTN-4 a CAM-PTN-8, se presentan los prediseños de la variante para el sitio de muro ALT1 considerando un volumen útil de 9 $hm^3$. Este trazado alternativo se ilustra en la Figura 14.1.1-1.

Los diseños geométricos están calculados para una velocidad de diseño de 30 km/h restringida por curvas y pendientes muy altas. Las rasantes se han proyectado teniendo presente, tanto el espacio de la faja existente en algunos tramos, así como el ancho de calzada

existente en el camino afectado. Con estos datos se proyectaron los caminos con un ancho de calzada de 5,0 m y taludes de corte y terraplén de 1/1.

**FIGURA 11.1.1-1**
**TRAZADO VARIANTE DE CAMINO**
**ALT1 VU 9hm$^3$**




Fuente: Elaboración propia a partir información Google Earth

## 11.1.2. Presupuesto de Camino

En el Cuadro 14.1.2-1 se presentan los costos asociados a la variante de camino necesaria para mantener la conectividad de los poblados y sectores ubicados aguas arriba de los sitios alternativos de embalse.

**CUADRO 11.1.2-1**
**DETALLE DE COSTOS DIRECTOS CONSTRUCCIÓN**
**VARIANTE DE CAMINO**

| DESCRIPCIÓN | Volumen Útil (hm$^3$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 15,0 |
| ALT1 | 161.385.129 | 440.577.188 | 559.804.316 | 613.409.192 | 672.318.716 |
| ALT2 | 0 | 274.178.721 | 479.955.388 | 594.703.324 | 663.105.378 |
| ALT3 | 0 | 156.918.056 | 479.676.195 | 558.687.548 | 593.028.171 |

Nota: Moneda del 1 de Abril 2012 (UF = 22.536,41; Dólar = U$ 487,44)

Fuente: Elaboración propia

## *11.2. expropiaciones*

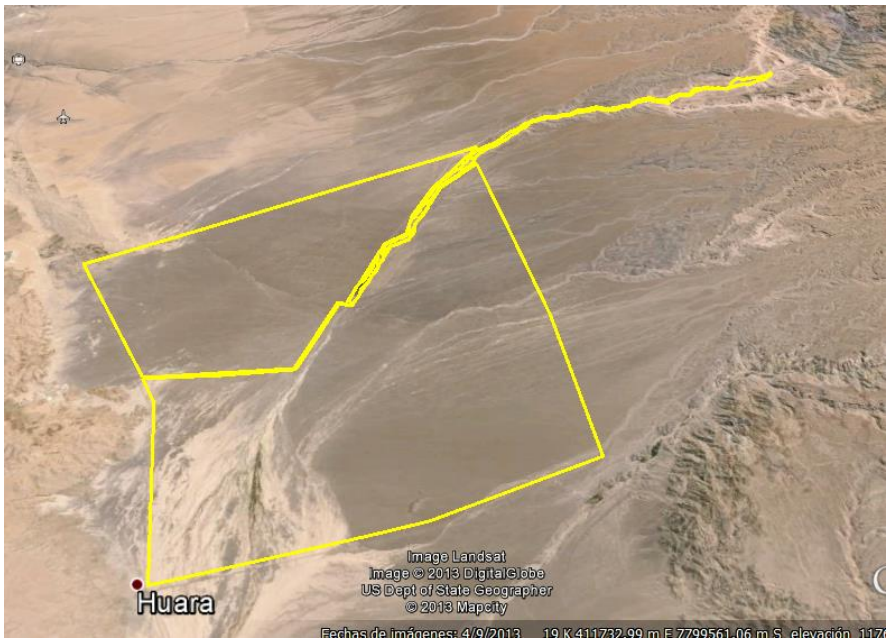
A continuación, se describen aquellos aspectos correspondientes a la tenencia de la tierra en las propiedades factibles de ser expropiadas ante una eventual construcción de la obra, por encontrarse dentro de la zona máxima de inundación u otras zonas.

### 11.2.1. Tenencia Jurídica de la Tierra en Zonas de Expropiación

Tal como se indica en el acàpite 6.6 de Capítulo 6, el área de la que se solicitó información a las entidades públicas, se presenta en la Figura 14.2.1-1.

La información emanada del Ministerio de Bienes Nacionales, a partir de la Secretaría Regional Ministerial de la Región de Tarapacá, indica que en su mayoría el terreno corresponde a propiedad fiscal, inscrita a favor del Fisco a Fojas 78 bajo el N° 77 del año 1985, fojas 1396 bajo el N° 1366 del año 1983 y fojas 1380 bajo el N° 1364 del año 1983, todas del Conservador de Bienes Raíces (CBR) de Pozo Almonte, las que se encuentran en carácter de propiedad fiscal disponible, en trámite de administración y enajenada previamente [28]. Además se sostuvieron algunas reuniones con los funcionarios de la institución para aclarar algunas dudas.

**FIGURA 11.2.1-1**
**ÁREA SOLICITUD DE INFORMACIÓN**




Fuente: Elaboración propia, sobre imagen Google Earth.

La inscripción a Fojas 78, N° 77 del año 1985, indica que corresponde a una Reinscripción Dominio del Fisco de Chile y tiene los siguientes límites:

Norte: Desde Caleta Camarones, una línea que va por el río Camarones hasta el lugar denominado Illapata, desde Illapata una línea que va por el límite sur de las provincias de Arica y Parinacota hasta el cerro capitán en el límite internacional con Bolivia.

Este: Desde el cerro Capitán, una línea que va por el límite internacional con Bolivia, hasta el río Sitani.

Sur: Desde el río Sitani una línea a las cumbres de los cerros Sauceña y Guariplaza, la intersección de las quebradas de Aroma y

[28] En el Anexo 6-11 se presenta el oficio de respuesta a la información requerida.

Puchuldiza, desde esta intersección una línea que va por la quebrada de Aroma hasta el punto denominado Curaña, desde Curaña una línea que va por la pampa hasta llegar a la línea del ferrocarril de Huara a Negreitas.

Oeste: Desde la línea del ferrocarril de Huara a Negreiras, una línea que va por los pueblos de Dolores y Zapiga, quebrada de Retamilla y Tana, hasta la desembocadura de la quebrada de Tana hasta Caleta de Camarones con mar de Chile.

Esta inscripción posee más de 200 subinscripciones al margen y en hojas anexas.
La inscripción a Fojas 1396, N° 1366 del año 1983, indica que corresponde a Brenda Cortés Painamil y tiene los siguientes límites:

Norte: Una línea que partiendo de Euroña exclusive termina en la oficina Tía María inclusive.

Este: Sea la que partiendo de Euroña exclusive termina en la "Taberna".

Sur: Una línea que partiendo de la oficina Tía María termina en el cerro de Huadar y sigue hasta la estación de las carpas inclusive.

La inscripción a Fojas 1380, N° 1364 del año 1983, indica que corresponde Mirianne Zúñiga Cienega y tiene los siguientes límites:

Norte: Quebrada de Aroma.

Este: Con límite internacional.

Sur: Camino que partiendo de Cabropasa por Macaja y Yobicora hasta la cordillera.

Oeste: Línea recta partiendo de Curaña llegue a la Cabra.

Respecto del sector propuesto como expansión agrícola (sector 2), corresponde a terrenos fiscales y a su alrededor hay terrenos destinados a un servicio público, además de Concesiones de uso gratuito a la Asociación Indígena Unión de Chacareros de Puchuldiza y a la Asociación Indígena Valle Verde.

### 11.2.1. Propiedades Afectas a Expropiación

La superficie a expropiar corresponde a la superficie inundada por el embalse más la superficie ocupada por las obras anexas. Para ello se realizó una medición de la superficie a expropiar que se muestra en el Cuadro 14.2.1-1.
El lugar en que se encuentra en el sitio del embalse propuesto, en un escenario de máxima capacidad corresponde a Bienes Nacionales para las 3 alternativas estudiadas. Los planos de expropiaciones se ubican en el tomo de Planos, en las láminas EXP-PTN-01, EXP-PTN-02 y EXP-PTN-03.
Para efectuarse la obra de conducción se sugiere la instalación de un camino de inspección aledaño a la conducción, por lo que se estima un ancho de 5 m, la que se presenta en la lámina EXP-PTN-04 del volumen 6.

**CUADRO 11.2.1-1**
**PROPIEDADES AFECTAS A EXPROPIACIÓN**

| LOTEO | Nº Rol de Avalúo Según SII | Nombre del Propietario Según SII | Nombre Propietario Aparente | Comuna | Dirección o Nombre de la Propiedad | Superficie Total Expropiación (ha) | Observación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | SIN ROL | B.N.U.P | BIENES NACIONALES | HUARA | PINTANANE | 138,29 | MURO ALTERNATIVA 1 |
| 2 | SIN ROL | B.N.U.P | BIENES NACIONALES | HUARA | PINTANANE | 125,80 | MURO ALTERNATIVA 2 |
| 3 | SIN ROL | B.N.U.P | BIENES NACIONALES | HUARA | PINTANANE | 128,71 | MURO ALTERNATIVA 3 |
| 4 | SIN ROL | B.N.U.P | BIENES NACIONALES | HUARA | ARIQUILDA - CURAÑA | 12,97 | CAMINO Y OBRA DE CONDUCCIÓN |
| 5 | SIN ROL | B.N.U.P | BIENES NACIONALES | HUARA | CURAÑA - CERRO UNITAS | 9,08 | CAMINO Y OBRA DE CONDUCCIÓN |

La presente información se rescata del acápite 6.6 de Capítulo 6.
Fuente: Elaboración propia.

### 11.2.2. Valoración de los Terrenos

Se realizó una revisión de los libros de propiedad en el CBR de Pozo Almonte, donde no se registran compraventas en el valle de Aroma. El valor de la tierra se estimó a partir de antecedentes recopilados desde la misma fuente para el pueblo de Tarapacá (comuna de Huara), estimándose un valor por hectárea - actualizado al 1 de Enero de 2014 - de $2.700.000.

### 11.2.3. Costos Considerados

Según los antecedentes disponibles todas las tierras pertenecen al fisco, a pesar de ello, se considera la expropiación de unas eras sin uso ubicadas en el sector de inundación (Misticsa) que en total suman 2,21 ha. En total el costo por las expropiaciones es de $ 5.968.149, tal como se indica en el Cuadro 14.2.3-1.

## CUADRO 11.2.3-1
## COSTOS EXPROPIACIONES CONSIDERADA

| Sector | Área (ha) | Precio ($/ha) | Total ($) |
|---|---|---|---|
| Misticsa | 2,21 | 2.700.000 | 5.968.149 |

Nota: Moneda del 1 de Abril 2012 (UF = 22.536,41; Dólar = U$ 487,44)

Fuente: Elaboración propia

# 12. estudio de análisis ambiental

## *12.1. Introducción*

El presente capítulo corresponde a un resumen del Estudio de Análisis Ambiental (EAA) de la presente consultoría.

## *12.2. Objetivo y Alcance del EAA*

### 12.2.1. Objetivo General

Estudiar y evaluar, ambientalmente, los sitios de emplazamiento del embalse en la Quebrada de Aroma, evaluando en forma preliminar los potenciales Impactos Ambientales que se podrían generar durante la implementación y operación del proyecto, pertinencia de Ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto definido por ingeniería en la Etapa de Prefactibilidad, elaborando, además, el(los) respectivos Planes Preliminares de Manejo y Seguimiento Ambiental y sus costos aproximados, de tal forma de lograr su comparación y análisis de ventajas y desventajas en este aspecto.

## *12.3. Contenido del EAA*

El presente EAA se presenta en 10 Capítulos y un Resumen Ejecutivo. El contenido de cada capítulo se describe brevemente a continuación:

1. **Introducción y Objetivos del EAA:** Pone en contexto el EAA y expone objetivos del mismo.

2. **Antecedentes Generales del Proyecto:** Da a conocer la características generales del estudio en curso y el tipo de obras involucradas.

3. **Explicación de la metodología general del EAA.** Se detallan los pasos seguidos para la evaluación de los impactos ambientales.

4. **Caracterización de la línea de base del Área de Influencia:** Se describen los principales aspectos de los componentes ambientales relevantes en el proyecto en el área de influencia y se evalúa la sensibilidad ambiental de cada uno de ellos.

5. **Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales:** Se identifican y evalúan impactos ambientales en etapas de construcción y operación, describiendo previamente el método empleado.

6. **Otros proyectos en la zona y su relación con el proyecto:** Se identificó proyectos y/o estudios existentes, en desarrollo o planificados en la zona de emplazamiento de esta obra, que pudieran generar interferencias.

7. **Zonas de Restricción Ambiental:** se identifican, en función de los antecedentes recopilados, aquellas zonas en que los trabajos relacionados con el proyecto deben ser limitados o prohibidos.

8. **Descripción del marco legal y ambiental aplicable:** con base en el marco legal, se analiza la normativa ambiental general y específica aplicable al proyecto. Estas normas se asocian a las obras y acciones que se definen para el proyecto. Además se establece un primer acercamiento al plan de cumplimiento de ésta.

9. **Plan de Manejo Ambiental:** se plantea un plan a través del cual se establecen las medidas que permiten evitar, atenuar, reparar y/o compensar los impactos ambientales ocasionados en el medio ambiente producto de la intervención por la construcción y operación del embalse. Contiene a los subplanes de Mitigación Restauración o reparación y de Compensación.

10. **Plan de Seguimiento Ambiental:** se plantea un plan a través del cual se controla, vigila y lógicamente se hace seguimiento al cumplimiento de las medidas de mitigación que se establecen en el Plan de Monitoreo Ambiental.

11. **Estudios recomendados:** Detalla los estudios ambientales recomendados para las etapas posteriores (factibilidad y diseño), con el fin de sumar información de mayor detalle a la toma de decisiones en materia ambiental.

12. **Aproximación de los costos ambientales asociados al proyecto.** Se estiman los costos de las medidas ambientales genéricas factibles de ser implementadas durante la construcción y operación.

13. **Conclusiones:** Se presentan conclusiones del EAA**.**

## *12.4. Resultados Principales del Estudio*

### 12.4.1. Análisis de Pertinencia de Ingreso al SEIA

Se concluye que el proyecto debe ingresar al SEIA. El modo de ingreso al SEIA de acuerdo a los análisis realizados en conformidad a la Ley y las posibles consecuencias a los componentes ambientales, se detallan a continuación.

Los impactos identificados y valorados, presentan a lo menos uno de los efectos, características o circunstancias de acuerdo al artículo 11 de la Ley 19.300 y su modificación establecida en la Ley 20.417 y en el Artículo 6 del Reglamento del SEIA.

*Artículo 11°. Los proyectos o actividades enumerados en el artículo precedente requerirán la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental, si generan o presentan a lo menos uno de los siguientes efectos, características o circunstancias:*

*b) Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire;*

El proyecto deberá someterse al SEIA como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), por cuanto el emplazamiento de las alternativa propuesta generaría impactos ambientales relevantes y que determinan el modo de ingreso como un EIA de acuerdo al Artículo 11 de la Ley 19.300, sus modificaciones (Ley 20.417) y sus especificaciones en el Artículo 6 (letras a y c) del Reglamento del SEIA.
Esta conclusión deberá ser ratificada en las siguientes fases del proyecto, al conocer en mayor detalle sus obras, diseños definitivos y actividades asociadas, y habiéndose también realizado los estudios propuestos en el presente informe.

### 12.4.2. Evaluación de Impactos Ambientales

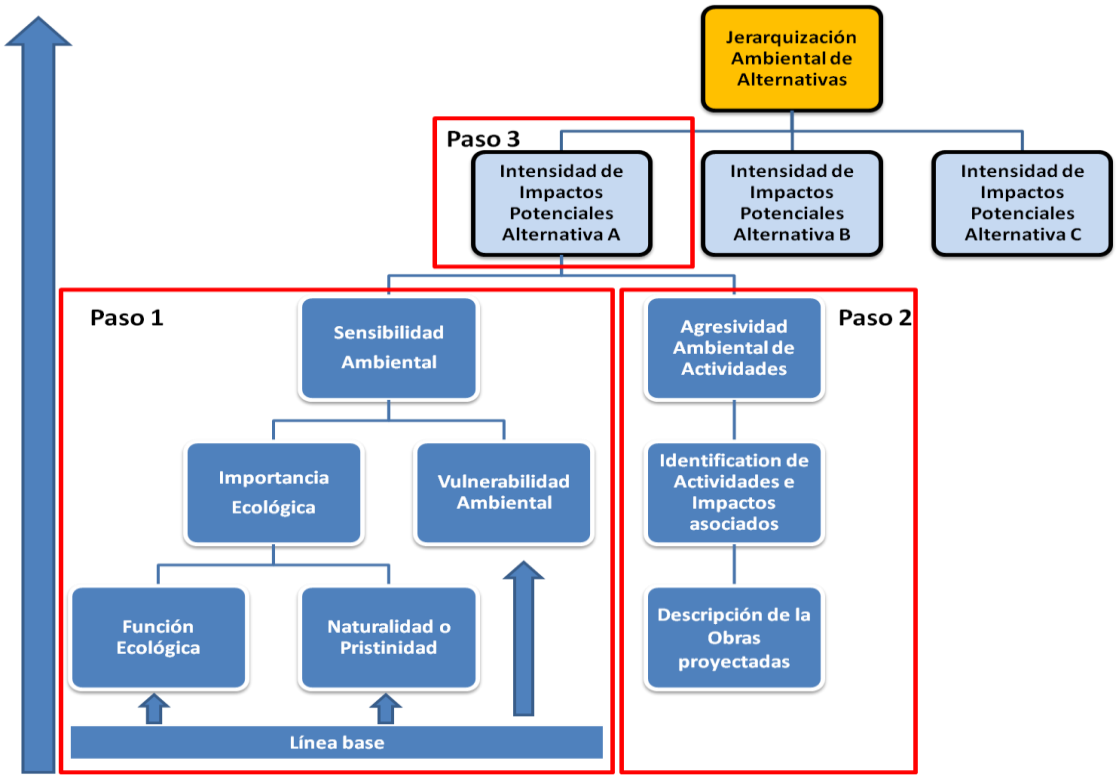
La evaluación de la intensidad de impactos potenciales, está dada por la combinación de los resultados obtenidos entre Sensibilidad Ambiental y Agresividad de Actividades, tal como se indica en la explicación de este método (apartado 3 del Informe EAA). Para efectos de este cálculo se obtuvo un valor de Sensibilidad Ambiental para cada componente, y un valor de Agresividad de Actividades. Posteriormente se promedian ambos valores en cada componente, para obtener un valor de Intensidad del Impacto Ambiental.
La Figura 12.4.2-1 muestra un esquema de la metodología empleada y el Cuadro 12.4.2-1 muestra el resultado final de dichos cálculos.

**CUADRO 12.4.2-1**
**RESUMEN INTENSIDAD DE IMPACTOS POR COMPONENTES Y POR ALTERNATIVA**

| Componente | Impacto Ambiental | Intensidad de Impacto | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Alt 1 | Alt 2 | Alt 3 |
| **Hi** | Alteración del régimen hidrológico y sedimentológico del río | 3,39 | 3,39 | 3,39 |
| **Ca** | Alteración de la calidad de las aguas | 3,31 | 3,31 | 3,31 |
| **FVt** | Alteración y/o destrucción de hábitat de especies de flora | 3,27 | 3,31 | 3,31 |
| | Pérdida de Vegetación | | | |
| **FAt** | Alteración y/o destrucción de hábitat de especies de fauna | 3,29 | 3,33 | 3,33 |
| | Pérdida de ejemplares de fauna terrestre con problemas de conservación | | | |
| **FFa** | Alteración y/o destrucción de hábitat de especies de flora y fauna acuática | 3,35 | 3,35 | 3,35 |
| | Pérdida de ejemplares de fauna acuática con problemas de conservación | | | |
| **Bio** | Afectación de áreas Protegidas | 3,37 | 3,37 | 3,33 |
| **AH** | Alteración del sistema de vida, tradiciones y costumbres | 3,18 | 3,18 | 3,18 |
| **PAr** | Pérdida de patrimonio arqueológico | 3,33 | 3,33 | 3,33 |

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 12.4.2-1**
**ESQUEMA MÉTODO EAA**




Fuente: Elaboración propia

### 12.4.3. Costos Ambientales Asociados al Proyecto

El Cuadro 12.4.3-1 muestra un resumen de los costos ambientales totales (Costos directos + 30% de imprevistos y otros) para cada escenario de capacidad de embalse, donde se incluye cada una de las 3 alternativas propuestas en este estudio, con las variantes de calidad de agua actual sin mejoramiento y calidad de agua mejorada.

## CUADRO 12-2
## COSTOS TOTALES DE LAS ALTERNATIVAS DE ESTUDIO, PARA DISTINTAS CAPACIDADES (VU) DE EMBALSE

| Capacidad: VU 3 $hm^3$ | | | |
|---|---|---|---|
| **ALTERNATIVA** | **AÑO 1 (CONSTRUCCIÓN)** | **AÑO 2 (PRIMER AÑO DE OPERACIÓN)** | **COSTO TOTAL** |
| **1A*1** | $ 728,736,818 | $ 416,711,590 | $ 1,145,448,408 |
| **1B*2** | $ 1,280,581,892 | $ 724,504,516 | $ 2,005,086,408 |
| **2A*1** | $ 769,265,141 | $ 435,220,951 | $ 1,204,486,091 |
| **2B*2** | $ 1,318,287,293 | $ 745,836,798 | $ 2,064,124,091 |
| **3A*1** | $ 823,021,309 | $ 465,634,146 | $ 1,288,655,454 |
| **3B*2** | $ 1,372,043,461 | $ 776,249,993 | $ 2,148,293,454 |
| **Capacidad: VU 6 $hm^3$** | | | |
| **ALTERNATIVA** | **AÑO 1 (CONSTRUCCIÓN)** | **AÑO 2 (PRIMER AÑO DE OPERACIÓN)** | **COSTO TOTAL** |
| **1A*1** | $ 854,968,799 | $ 483,708,820 | $ 1,338,677,619 |
| **1B*2** | $ 1,578,396,773 | $ 892,996,846 | $ 2,471,393,619 |
| **2A*1** | $ 896,802,706 | $ 507,376,853 | $ 1,404,179,559 |
| **2B*2** | $ 1,620,230,680 | $ 916,664,879 | $ 2,536,895,559 |
| **3A*1** | $ 906,090,868 | $ 512,631,742 | $ 1,418,722,610 |
| **3B*2** | $ 1,629,518,842 | $ 921,919,768 | $ 2,551,438,610 |
| **Capacidad: VU 9 $hm^3$** | | | |
| **ALTERNATIVA** | **AÑO 1 (CONSTRUCCIÓN)** | **AÑO 2 (PRIMER AÑO DE OPERACIÓN)** | **COSTO TOTAL** |
| **1A*1** | $ 920,019,388 | $ 520,511,969 | $ 1,440,531,357 |
| **1B*2** | $ 1,754,786,126 | $ 992,791,231 | $ 2,747,577,357 |
| **2A*1** | $ 1,030,551,394 | $ 583,046,773 | $ 1,613,598,167 |
| **2B*2** | $ 1,865,318,132 | $ 1,055,326,035 | $ 2,920,644,167 |
| **3A*1** | $ 943,306,532 | $ 533,686,949 | $ 1,476,993,481 |
| **3B*2** | $ 1,778,073,270 | $ 1,005,966,211 | $ 2,784,039,481 |
| **Capacidad: VU 12 $hm^3$** | | | |
| **ALTERNATIVA** | **AÑO 1 (CONSTRUCCIÓN)** | **AÑO 2 (PRIMER AÑO DE OPERACIÓN)** | **COSTO TOTAL** |
| **1A*1** | $ 973,220,520 | $ 550,611,145 | $ 1,523,831,665 |
| **1B*2** | $ 1,854,664,851 | $ 1,049,298,814 | $ 2,903,963,666 |
| **2A*1** | $ 1,154,620,685 | $ 653,240,457 | $ 1,807,861,142 |
| **2B*2** | $ 2,036,065,016 | $ 1,151,928,126 | $ 3,187,993,143 |
| **3A*1** | $ 1,067,600,760 | $ 604,007,894 | $ 1,671,608,654 |
| **3B*2** | $ 1,949,045,091 | $ 1,102,695,563 | $ 3,051,740,654 |

| Capacidad: VU 15 $hm^3$ |
|---|

**CUADRO 12-2**
**COSTOS TOTALES DE LAS ALTERNATIVAS DE ESTUDIO, PARA DISTINTAS CAPACIDADES (VU) DE EMBALSE**

| ALTERNATIVA | AÑO 1 (CONSTRUCCIÓN) | AÑO 2 (PRIMER AÑO DE OPERACIÓN) | COSTO TOTAL |
|---|---|---|---|
| **1A*1** | $ 1,098,400,103 | $ 621,432,991 | $ 1,719,833,094 |
| **1B*2** | $ 2,022,138,220 | $ 1,144,048,875 | $ 3,166,187,094 |
| **2A*1** | $ 1,214,686,256 | $ 687,223,272 | $ 1,901,909,529 |
| **2B*2** | $ 2,138,424,373 | $ 1,209,839,156 | $ 3,348,263,529 |
| **3A*1** | $ 1,155,703,787 | $ 653,853,236 | $ 1,809,557,023 |
| **3B*2** | $ 2,079,441,904 | $ 1,176,469,119 | $ 3,255,911,023 |

Costos totales incluyen un 30% de imprevistos y otros

*1: Alternativa variante A :Calidad de agua actual

*2: Alternativa variante B: Calidad de agua mejorada

Fuente: Elaboración propia

### 12.4.4. Estudios Recomendados para Etapas Posteriores

A continuación se enlistan aquellos estudios que, se propone, deben realizarse para una eventual etapa de Factibilidad.

- Estudio para la determinación de un caudal ecológico, idealmente basado en criterios tanto biológicos, físicos (geomorfología fluvial) como hidrológicos.

- Estudio sobre conservación de la funcionalidad ecológica del río. Estrechamente vinculado con el caudal ecológico pero no únicamente enfocado al régimen de caudal sino también en régimen sedimentológico y de nutrientes, que permitan ofrecer soluciones para minimizar el impacto, como por ejemplo un plan de conservación de lechos.

- Estudio para la determinación a una menor escala de los límites del área protegida Parque Nacional Volcán Isluga, además de la determinación de una zona de transición de manera de asegurar la no afectación de éste Parque

- Actualización de la línea de base del medio biótico en todos sus componentes, con especial énfasis en el medio acuático, con el fin de complementar la información que se ha levantado en el presente estudio y poder compararla para conocer la evolución temporal de las comunidades bióticas al interior del ecosistema.

- Profundización de la línea de base arqueológica en zona del embalse proyectado. Dadas las recomendaciones del arqueólogo del estudio, existen argumentos y documentación suficiente como para considerar el sector como zona de potenciales hallazgos en el futuro.

- Línea de base de la Calidad del Aire. Debe incluir monitoreos/mediciones de la calidad del aire en puntos estratégicos que se deberán definir en conjunto con la inspección fiscal del futuro estudio.

- Línea de base de Ruido y Vibraciones. Debe incluir monitoreos/mediciones de los niveles sonoros y de vibraciones en puntos estratégicos que se deberán definir en conjunto con la inspección fiscal del futuro estudio.

### 12.4.5. Conclusiones

El proyecto analizado en el presente informe, debe someterse al SEIA mediante la elaboración de un EIA, dado que cumple con los requisitos estipulados con la Normativa Ambiental vigente en Chile (ver apartado 8 del presente informe).

En términos generales, las tres alternativas presentan condiciones similares, tales como la localización (500 metros aproximadamente entre la alternativa 1 y 3), y las condiciones geográficas donde se encontrarían emplazadas. Por otra parte, las áreas de inundación también son similares, fluctuando entre los 117 y 130 ha aproximadamente, y el tipo de embalse, en los tres casos, sería CFGD. Estas condiciones podrían explicar la similitud en la **intensidad** de los impactos ambientales asociados a cada una de las alternativas, no distinguiéndose ninguna, en términos ambientales, respecto al resto.

De acuerdo al análisis preliminar de impactos potenciales, se concluye inicialmente, que el componente más afectado sería el de Hidrología, debido a la alteración del régimen de agua y sedimentos del cauce. En cuanto a impacto, le siguen los componentes de Biodiversidad, ya que existe un Parque Nacional perteneciente al SNASPE a menos de 1 km de las áreas de inundación consideradas, posteriormente Flora y Fauna acuática por las implicancias que tiene para este componente el hecho de intervenir el cauce y dado que se hallaron especies con problemas de conservación. Por último, es importante destacar el impacto que podría sufrir el componente de Patrimonio arqueológico y cultural ya que se encontró vestigios que pudieran tener relevancia histórica y que es necesario investigar más profundamente.

Finalmente, se ha recomendado la realización de algunos estudios ambientales específicos como; un estudio sobre la funcionalidad ecológica del río, estrechamente vinculado con la determinación de un caudal ecológico; un estudio para la delimitación de los límites del Parque Nacional Volcán Isluga a una escala más detallada; la actualización de la línea base del medio biótico, profundización de la línea de base arqueológica, entre otros. El objetivo de lo anterior es afinar el conocimiento respecto de estos temas y aumentar así el nivel de claridad y seguridad al momento de evaluar el impacto ambiental correspondiente, con todo lo que esto involucra en términos de la toma de decisiones futuras, planificación y manejo. Estos estudios, se propone, debieran realizarse para el Estudio de Factibilidad del presente proyecto.

# 5. Participación Ciudadana

## *5.1. Introducción*

El programa de participación ciudadana se enmarca dentro de los siguientes objetivos.

### 5.1.1. Objetivos del Estudio

Integrar a la comunidad, autoridades y servicios relacionados al desarrollo del proyecto, ya sea a través de consultas, talleres de trabajo u otras actividades que permitirán, por una parte, informarlos de los objetivos y avances del estudio, y por otra, recoger información, inquietudes, intereses y opiniones cuando sea técnica y económicamente factible"

### 5.1.2. Objetivos Específicos

- Contextualizar social y territorialmente el área de influencia del proyecto.
- Identificar y caracterizar a los actores relevantes, tanto comunitarios como institucionales.
- Difundir, a los actores relevantes identificados, los objetivos y avances del estudio.
- Conocer e incorporar, en la medida que sea técnica y económicamente viable, las opiniones, inquietudes, conocimientos y sugerencias de los actores sociales relevantes para el proyecto.
- Elaborar, a partir de las inquietudes ciudadanas, un plan de trabajo de Participación Ciudadana para desarrollar durante la etapa de construcción de las obras.

## *5.2. Resultados*

Este Programa de Participación Ciudadana presenta los siguientes resultados.

### 5.2.1. Descripción del Área del Proyecto

A través de una descripción general de la zona y de los principales indicadores socioeconómicos, se caracterizó el área de estudio. Los aspectos de mayor relevancia se presentan a continuación.

Según los resultados del Censo de Población y Vivienda de 2002, la población de la Comuna alcanza los 2.599 habitantes, lo que corresponde al 11,54% de la Provincia de El Tamarugal y 1,09% de la Región de Tarapacá. La densidad poblacional es 0,2 habitantes/km$^2$. Por otra parte, los hombres representan el 57,7% del total de habitantes de la Comuna, porcentaje que es más alto que a nivel regional (Cuadro 2.1.3.1-2).

La mayor parte de las familias (74,22%) en la Comuna de Huara presentan una situación socioeconómica de "carencias inerciales"; vale decir, presentan ingresos sobre la línea de pobreza, pero tienen carencias en una o más de sus necesidades básicas. En tanto en una segunda posición, y con gran diferencia, se ubican las familias que se encuentran en una

situación de pobreza crónica. Estas familias representan el 12,34% del total. Por otro lado, un 11,72% de las familias se encontrarían en una condición de integración social, y sólo un 1,72% en condición de pobreza reciente. Este último porcentaje constataría que en la Comuna existen muy pocas familias bajo la línea de pobreza y que no presentan carencia en la satisfacción de sus necesidades (PLADECO 2012-2016).
La población ocupada en la Comuna de Huara se concentra principalmente en las actividades asociadas a la agricultura, ganadería, caza y silvicultura con un 45,9% de representación en la población ocupada, seguidas por la pesca y luego la explotación de minas y canteras, todas las cuales constituyen el sector primario en la actividad económica de la Comuna.

### 5.2.2. Diagnóstico del Territorio

El diagnóstico del territorio corresponde a la contextualización social y territorial del área de estudio, abordando la caracterización de actores y organizaciones, sus relaciones y las problemáticas que afrontan.
Se identificaron distintos actores y organizaciones, destacando entre ellas a las siguientes: Comunidad Indígena Aymara de Aroma, Asociación Indígena Aymara Unión Chacareros de Puchuldiza, Asociación Indígena Aymara Valle Verde de Pachica, que son las que se encuentran activas en el territorio.
Además, luego de una identificación de los actores clave, se realiza una caracterización de los actores relevantes, en función de las entrevistas realizadas. Para esto se realiza la Matriz de Actores Relevantes. En ella se presenta cada actor identificado, una descripción, la posición frente al proyecto, el argumento, el grado de influencia y la relación entre distintos actores.
Los actores analizados son:

- Junta de Vecinos – Comunidad Indígena, ambas de Aroma;
- Asociación Indígena Valle Verde de Pachica
- Coordinación Regional de Riego
- Dirección de Obras Hidráulicas, DOH
- Dirección General de Aguas, DGA
- Ilustre Municipalidad de Huara
- Programa PRODESAL, Convenio I. Municipalidad de Huara e INDAP
- Corporación Nacional Indígena, CONADI
- Gobernación Provincial del Tamarugal
- Asociación Gremial de Pequeños Agricultores del Valle Quebrada de Tarapacá
- Asociación Indígena Aymara Unión Chacareros de Puchuldiza
- SEREMI de Agricultura
- Comisión de Fomento Productivo, Consejo Regional de Tarapacá

### 5.2.3. Plan de Actividades de Participación Ciudadana

Las actividades del programa de participación ciudadana realizadas durante el desarrollo del Estudio se presentan a continuación.

- Contactos iniciales y reuniones
- Visitas a terreno
- Entrevistas (15)

- Primera reunión ampliada de participación ciudadana: Fue realizada el 16 de mayo de 2013, a ella asistieron 34 personas, además las autoridades de la SEREMI de Agricultura, la CNR y personal de la consultora. Las principales inquietudes tratadas durante la reunión fueron, la relación del proyecto con las aguas subterráneas, si en un futuro se cobrará por el agua, sobre las expropiaciones y el área donde se realizará el proyecto de expansión, la preocupación y suspicacia en torno a los proyectos mineros en relación con el embalse, el financiamiento de este tipo de obras y la incorporación de estándares del Convenio 169 de la OIT.
- Reunión con el Consejo Regional de Tarapacá
- Segunda reunión ampliada de participación ciudadana: Fue realizada el 22 de octubre de 2013, a ella asistieron 24 personas, además del personal de la consultora. Las principales inquietudes tratadas durante la reunión fueron, la solicitud de incorporar un sitio en el análisis de los sitios, consultas sobre la rentabilidad del proyecto, sobre la posibilidad de visitar algún tranque construido, la calidad del agua en relación con la agricultura y la influencia del atajo de las aguas en la zona de Bajo Soga y la Pampa del Tamarugal.
- Tercera reunión ampliada de participación ciudadana: Fue realizada el 4 de marzo de 2014 y a ella asistieron 18 personas, además del personal de la consultora. Las principales inquietudes durante la reunión se relacionaron con el proceso de evaluación económica y con la calidad del agua.

### 5.2.4. Componente de Género

Se realizó un análisis de género de los datos obtenidos en la encuesta agropecuaria implementada en el estudio agroeconómico, específicamente sobre el acceso a la propiedad de la tierra. De la información obtenida del análisis de las encuestas es posible constatar que la propiedad de la tierra es mayoritariamente masculina, tanto en tenencia de la tierra como en superficie.

En relación a las actividades productivas, la encuesta agropecuaria, arrojó que la mayor parte de los trabajadores permanentes son hombres, sólo son trabajadores del grupo familiar, no existen trabajadores externos en el área de estudio. En cuanto a las jornadas temporales, las jornadas familiares son realizadas en partes iguales por hombres y mujeres, asimismo las jornadas de trabajadores externos son realizadas solo por hombres.

Los datos analizados sobre temas de género dejan ver una alta presencia de desigualdades de género, la mujer queda relegada a un plano secundario principalmente en el ámbito productivo y en el acceso a la tierra.

En términos productivos el hombre es quien domina el rol de los trabajos permanentes, sin embargo cuando se trata de jornadas temporales las mujeres igualan las jornadas de trabajo siempre dentro del grupo familiar, en tareas especificas y previamente designadas.

Al analizar los posibles factores que podrían generar problemas o conflictos en términos de género producto del desarrollo del proyecto, el obstaculizador predominante corresponde a la barreras de entrada que deben sortear las mujeres para acceder a mejores trabajos y a cargos dirigenciales en organizaciones del agro, lo que puede limitar la incorporación de temas de género en las proyecciones que se realizan del área, y con ellos aumentar las

brechas existentes en el país, que son discordantes a la realidad internacional, donde el rol de la mujer ha ganado espacios de importancia.

## *5.3. Evaluación del Proceso de Participación Ciudadana*

### 5.3.1. Introducción

En el presente acápite se evalúa el proceso de participación ciudadana llevado a cabo para el presente estudio.
Tal como ha sido posible apreciar en este informe, la secuencia lógica de actividades concatenadas entre sí, ha permitido el cumplimiento de los objetivos planteados.
En cada una de las instancias de participación, se logró generar espacios de retroalimentación posteriores a la entrega de información en los que los/as participantes pudieron dar a conocer sus inquietudes, observaciones y comentarios en general.

### 5.3.2. Facilitadores y Obstaculizadores del Proceso de Participación Ciudadana

#### 5.3.2.1. Introducción

A continuación, se relevan aquellos aspectos que han incidido como facilitadores u obstaculizadores del proceso de participación ciudadana desarrollado en el marco del Estudio de Prefactibilidad del Proyecto “Construcción Embalse Pintanane en Quebrada de Aroma, Huara”.

#### 5.3.2.2. Facilitadores

Un elemento facilitador fue la relación con el “portero”, quien recibió al equipo a cargo del estudio y permitió un completo recorrido por el territorio, quien correspondió al dirigente de la A.G. de Agricultores de la Quebrada de Tarapacá el Sr. Osvaldo Fuentes. Él en todo momento ha presentado una actitud constructiva y colaborativa, facilitando la implementación de actividades relacionadas con el estudio.
Así mismo, la institucionalidad pública regional en términos generales mostró una buena disposición en torno al desarrollo del Estudio, destacando por ejemplo el permanente acompañamiento y colaboración de la Secretaría Regional Ministerial de Agricultura y la Gobernación Provincial del Tamarugal.

#### 5.3.2.3. Obstaculizadores

Un elemento obstaculizador tiene que ver con el escaso conocimiento de los actores clave institucionales –más allá de la buena disposición de éstos- respecto de la quebrada de Aroma en general, la interacción entre sus actores, las organizaciones presentes en ese territorio y la trashumancia de quienes habitan en la quebrada; lo que pudo ser subsanado parcialmente por el equipo de participación ciudadana, retrasando la identificación de los actores clave, respecto de otros estudios realizados.

Otro de los obstáculos presentados durante el desarrollo del Estudio fue la dispersión de los potenciales beneficiarios del proyecto. Ello, debido a que en el territorio se ha venido dando un fuerte proceso de emigración a las ciudades cercanas. Si bien se ha logrado una amplia cobertura, se ha debido desarrollar una estrategia que incluye los sectores de Aroma, Pachica y Huara ("urbano") en la comuna de Huara, Pozo Almonte, Alto Hospicio e Iquique. Ello, en atención a la casi inexistente población con residencia permanente en el área de estudio, es decir, quienes hacen explotación agrícola y/o ganadera en el sector pernoctan allí sólo de manera ocasional y/o por períodos acotados de tiempo en atención a los propios ciclos productivos (período de cosecha, preparación del terreno para la siembra, etc.)

En las opiniones expresadas tanto en las entrevistas, en reuniones informales, en las reuniones de participación ciudadana, entre otras situaciones, se detecta un foco de controversia, que tiene que ver con la desconfianza a las instituciones públicas en pro de empresas mineras, especialmente en cuanto al otorgamiento de derechos de agua (DGA). Esta situación es vista como una amenaza para este tipo de proyectos, ya que existe el temor de que los derechos eventuales terminarán en manos de la minería. Indican que aún cuando originalmente estos derechos pasen a manos de pequeños agricultores del sector, posteriormente será tal la presión –incluidas atractivas ofertas económicas- que finalmente terminaran igual bajo propiedad de las empresas mineras con presencia en la Región.

Otra discrepancia con el Estudio, por parte de entes más bien científicos e instituciones como la DGA, es la potencial influencia que tendría el detener el escurrimiento normal de las aguas en crecida para embalsarla, sobre el sistema acuífero de la pampa del Tamarugal, que es fuente de agua tanto para las grandes urbes de la Región, como para empresas mineras de la zona. En tanto la calidad de la información existente al respecto, es deficiente y no permite realizar un análisis acabado de la situación, probablemente se mantendrá abierta esta discusión.

La reactividad de algunos grupos se ha hecho notar en una reunión distinta a las ejecutadas por el equipo consultor, pero que tiene directa relación con el Estudio, efectuada en el Gobierno Regional, Sesión de la Comisión de Infraestructura del Consejo Regional, donde un grupo de unas quince personas se manifestó contrario a la construcción de un embalse. Estas personas corresponderían a habitantes de localidades de la parte alta de la cuenca, que no se consideraron como afectados o beneficiados inicialmente. Frente a esta situación y aún cuando ya se contaba con el número previsto de entrevistas, se realizan reiterados intentos para recabar de manera directa los planteamientos de las organizaciones participantes de la manifestación en el Gobierno Regional así como otras movilizaciones realizadas en la capital regional (Iquique) en oposición a la construcción de embalses y cualquier iniciativa en esa dirección, incluida una etapa de prefactibilidad como es el caso del presente estudio. Finalmente no fue posible conocer de parte de los líderes de algunas de las comunidades involucradas, las motivaciones de la oposición y su postura frente al proyecto, además de entregar información pertinente al estudio para esclarecer alguna situación provocada por la desinformación de estos actores. Sin embargo, durante las reuniones de participación ciudadana y en las entrevistas a otros actores se puede vislumbrar que una potencial causa del descontento de los opositores al proyecto se debe a que las alternativas analizadas se ubican aguas abajo de sus terrenos, por lo que no serían beneficiados por la obra y adicionalmente, temen potenciales perjuicios.

La reactividad frente al proyecto puede verse acrecentada en las próximas etapas del proyecto, por la reglamentación de la Consulta en el marco del Convenio 169 de la OIT no

validada por las organizaciones indígenas del norte del país, cuestión que no tiene una solución de corto plazo, por lo que es un tema que va a seguir siendo visible en este y otros proyectos.
Aún cuando este proyecto no es recomendado para continuar con las siguientes etapas, debido a los resultados obtenidos en la evaluación económica, igualmente podría llevarse a cabo mediante otros mecanismos.

## *5.4. Consideraciones Mínimas para Etapas Futuras*

### 5.4.1. Introducción

El objetivo de la factibilidad, que correspondería a la próxima etapa en el ciclo del proyecto, buscará identificar requerimientos y actividades necesarias para habilitar a los usuarios en la explotación de las obras de riego[29].
Además se buscará determinar el impacto ambiental, social y territorial del proyecto y sus medidas de mitigación, reparación, compensación, contingencia, prevención de riesgos, y control y seguimiento.
A pesar que este proyecto no será recomendado para continuar con las siguientes etapas ya que difícilmente se justifique su construcción para ser postulado vía D.F.L.N°1.123 de 1981, debido a los resultados obtenidos en la evaluación económica, igualmente podría llevarse a cabo mediante otros mecanismos, por lo que se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones.

### 5.4.2. Consideraciones

Para la siguiente etapa, la actualización del diagnóstico debe identificar requerimientos y actividades necesarias para habilitar a los usuarios del agua en la explotación de grandes obras de riego. Es precisamente allí, donde se sugiere poner el énfasis en futuras acciones PAC en el área, es decir, resulta de suma importancia generar un plan de "capacitación y fortalecimiento organizacional" para las organizaciones de usuarios de aguas directamente involucradas en el proyecto. Así entonces, será necesario que los productores agrícolas del área adquieran las herramientas y habilidades que requieren para la futura administración y/o gestión de las obras asociadas a esta iniciativa.
En relación a las recomendaciones más específicas para etapas futuras y en función de los aprendizajes obtenidos en el transcurso del presente Estudio, se sugiere:

**a)** Incorporar un componente de capacitación y/o fortalecimiento organizacional en futuras implementaciones PAC en el área del Estudio. Este componente de capacitación / fortalecimiento organizacional, irá siendo cada vez más necesario en la medida de que los nuevos desafíos organizacionales asociados a la potencial construcción de las obras de riego demanden la instalación de capacidades con las que hoy no cuentan. A su vez, es posible anticipar un gran tema que tiene que ver con la inscripción de los derechos de agua en uso, específicamente en los de uso

[29] MOP. Manual de Gestión Ambiental, Territorial y Participación Ciudadana para Proyectos de Infraestructura.

consuetudinario. Es decir, el tema legal tanto desde el punto de vista de capacitación y formación en torno a ello, así como propiamente de tramitación de derechos, a nivel individual o comunitario.

**b)** Se sugiere también para próximas etapas, la generación de algunas actividades PAC de carácter diferenciado (segmentado), de forma complementaria a actividades generales. Ello, en función de los distintos efectos que una futura construcción del embalse significaría para los habitantes del área, es decir, se hace necesario realizar un trabajo específico y diferenciado con aquellos/as propietarios/as que pudiesen ser expropiados en el futuro, o bien que tengan algún tipo de tenencia de la tierra, la que no necesariamente sea la propiedad (como actividades culturales, de pastoreo, ancestrales, entre otras). Junto con esto, también debe realizarse un trabajo desde el punto de vista legal, para la regularización en la tenencia de la tierra, pudiendo gestionar el traspaso de las tierras de uso consuetudinario a nivel individual y/o comunitario.

**c)** Al estar el valle conformado especialmente por campesinos con predios de tamaños pequeños, se estima necesario capacitar a los regantes en modelos asociativos de explotación y/o comercialización, especialmente en empresas tales como cooperativas que faciliten la puesta en mercado de los productos, mejoren sus márgenes de comercialización y de ese modo hacer mella a la tendencia de vender terrenos para el posicionamiento de una gran empresa dominante, como ha ocurrido en otros valles del país.

**d)** Para poder explotar el potencial turístico de una obra de este tipo se debe capacitar también a los regantes en el uso turístico y se debe efectuar un estudio integral sobre el potencial turístico que pudiera alcanzar el valle.

## *5.5. Análisis Aplicación Convenio 169 de la OIT*

### 5.5.1. Introducción

En septiembre de 2008 el Estado Chileno ratificó el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes, el que entró en vigencia el año 2009. Este convenio, entre otras implicancias, establece el derecho a consulta y participación de los pueblos indígenas cada vez que se prevean medidas legislativas o administrativas susceptibles de afectarles directamente.

El área de influencia de las obras propuestas se localiza en gran parte en territorios que son parte del ADI Jiwasa Oraje (véase acápite 3.2.3) y los beneficiarios corresponden en un alto porcentaje a personas de ascendencia indígena, pertenecientes a comunidades indígenas, por lo que el desarrollo de este proyecto debe adecuarse a los estándares establecidos en el Convenio 169 en cuanto a la participación y la consulta.

Este análisis se realiza en la misma premisa planteada en el acápite precedente, ya que a pesar que este proyecto no será recomendado para continuar con las siguientes etapas,

debido a los resultados obtenidos en el estudio de ingeniería, igualmente podría llevarse a cabo mediante otros mecanismos.

### 5.5.2. Organizaciones Indígenas relacionadas con el Proyecto

#### 5.5.2.1. Introducción

Las organizaciones indígenas relacionadas con el proyecto y que se han diagnosticado como aquellas instituciones representativas de las comunidades indígenas se detallan a continuación.

#### 5.5.2.2. Organizaciones Funcionales

Como parte de la información recopilada, se ha identificado a la Asociación Indígena Aymara Unión Chacareros de Puchuldiza y a la Asociación Indígena Aymara Valle Verde de Pachica, como organizaciones activas que se encuentran llevando a cabo un proyecto para llevar aguas de la quebrada a la pampa. Estas organizaciones están constituida bajo el amparo de la Ley Indígena.
La organización Asociación Indígena Aymara de Aroma se encuentra compuesta por algunos de los miembros de la Comunidad del mismo nombre.
Otras organizaciones funcionales detectadas, pero que no han sido contactadas por la aparente inactividad en que se encuentran, está la Asociación Indígena Aymara Río Aroma o Asoproaroma y la Asociación Indígena Aymara Hijos de la Quebrada de Aroma (Mistiza y sus alrededores). Esta última según lo recabado en terreno, tendría a algunos de sus socios en el pueblo de Jaiña.

#### 5.5.2.3. Organizaciones de Representación Indígena Tradicional

Se consideran organizaciones de representación tradicional a aquellas denominadas Comunidades Indígenas en la Ley Indígena, que a pesar que podría corresponder a una formalidad distinta de la organización tradicional, coincide con los espacios de representación en muchos casos.
Estas organizaciones políticas presentes en el área de estudio son:

- Comunidad Indígena Aymara de Aroma, encontrándose algunos de sus integrantes habitando en la localidad de Aroma, en la quebrada del mismo nombre.

- Comunidad Indígena de Curaña, de la que no se obtuvo información en terreno, se encuentra en la lista de organizaciones existentes en la CONADI, pero no se encuentra vigente.

### 5.5.2.4. Otras Organizaciones de Representación Indígena

Además de las organizaciones antes descritas, existen otras instancias de representación indígena, como el Consejo Nacional de la CONADI y el Área de Desarrollo Indígena Jiwasa Oraje.
Cabe señalar que pese a lo señalado en este diagnóstico, pudiera presentarse alguna otra institución representativa, tanto formal y reconocida por la CONADI, como otra que incluso puede ser informal, que debe ser incluida en los proceso de participación y consulta.

## 5.5.3. Recomendación del Consultor respecto de la Aplicación del Convenio 169 de la OIT

### 5.5.3.1. Introducción

En primer lugar se presente un análisis situacional del Convenio 169 en el marco del presente Estudio, para de esta forma apuntar a una mejor comprensión de la propuesta de trabajo que se presenta.

### 5.5.3.2. Análisis Situacional

El Convenio 169 fue adoptado para "*responder a la situación vulnerable de los pueblos indígenas y tribales. En él se pide la adopción de medidas especiales para proteger sus instituciones, propiedades, culturas y medio ambiente*", respetando "*la identidad social y cultural de estos pueblos, sus costumbres, tradiciones e instituciones y llevarse a cabo según sus propios deseos*" (OIT, 2007[30]). El estatus jurídico del Convenio es un tratado internacional que adquiere carácter de obligatorio para los Estados en virtud de su ratificación (OIT, 2013[31]).
Los derechos a la participación, consulta y consentimiento previo, libre e informado son principios fundamentales del Convenio y son a su vez los que rigen la propuesta de trabajo con las comunidades indígenas del presente Estudio.
Respecto de la participación, el Artículo 7.1 del Convenio 169 dice que "*los pueblos interesados deberán tener el derechos de decidir sus propias prioridades en lo que atañe al proceso de desarrollo, en la medida en que éste afecte sus vidas, creencias, instituciones y bienestar espiritual y a las tierras que ocupan o utilizan de alguna manera, y de controlar en la medida de lo posible su propio desarrollo económico, social y cultural. Además dichos pueblos deberán participar en la formulación, aplicación y evaluación de los planes y programas de desarrollo nacional y regional susceptibles de afectarles directamente*". El Artículo 6.1 dice que "*al aplicar las disposiciones del presente Convenio, los gobiernos deberán: b) establecer los medios a través de los cuales los pueblos interesados puedan participar libremente, por lo menos en la misma medida que otros sectores de la población, y a todos los niveles en la adopción de decisiones en instituciones electivas y organismos administrativos y de otra índole responsables de políticas y programas que les conciernen; c) establecer los medios para el pleno*

[30] OIT, 2007. Convenio Número 169 Sobre Pueblos Indígenas y Tribales: Un Manual.
[31] OIT, 2013. Comprender el Convenio Sobre Pueblos Indígenas y Tribales, 1989 (núm. 169).

*desarrollo de las instituciones e iniciativas de esos pueblos, y en los casos apropiados proporcionar los recursos necesarios para este fin"*.
La OIT ha definido los elementos de la participación identificando cuatro criterios básicos, a saber (OIT, 2007):

- Los pueblos indígenas y tribales tienen el derechos de participar en todas y cada una de las etapas de un proyecto, política o programa;

- También se permitirá dicha participación durante la concepción o diseño de políticas, programas o proyectos hasta su aplicación y evaluación;

- Dichos pueblos participarán en la adopción de decisiones a todos los niveles (local, nacional o regional), sea de instituciones políticas electivas, sean de administraciones nacionales y locales.

- La participación se efectuará a través de las propias instituciones tradicionales u organismos representativos de los pueblos interesados, y no mediante estructuras impuestas desde fuera de la comunidad, salvo que ésta las acepte.

Respecto de la consulta, el Artículo 6.1 del Convenio 169 dice que "*al aplicar las disposiciones del presente Convenio los gobiernos deberán: a) consultar a los pueblos interesados, mediante procedimientos apropiados y en particular a través de sus instituciones representativas, cada vez que se prevean medidas legislativas o administrativas susceptibles de afectarles directamente"; en el Artículo 6.2 se dice que "las consultas llevadas a cabo en aplicación de este Convenio deberán efectuarse de buena fe y de una manera apropiada a las circunstancias, con la finalidad de llegar a un acuerdo o lograr el consentimiento acerca de las medidas propuestas*".
Antes de adoptar una norma legal o disposición administrativa que pueda afectarlos directamente, los gobiernos deben iniciar una discusión abierta, franca y significativa con los pueblos interesados (OIT, 2007).
Lo que interesa recordar en este punto, es que las consultas deben efectuarse (OIT, 2007):
a) De buena fe, respetando los intereses, valores y necesidades de la otra parte. El proceso de consulta debe ser específico a cada circunstancia y a las características especiales de un determinado grupo o comunidad.
b) Respetando el principio de representatividad lo cual es "*un componente esencial de la obligación de la consulta. […] Pudiera ser difícil en muchas circunstancias determinar quién representa una comunidad en particular. Sin embargo, si no se desarrolla un proceso de consulta adecuado con las instituciones u organizaciones indígenas y tribales verdaderamente representativas de las comunidades afectadas, la consulta encaminada no cumplirá con los requisitos del Convenio*[32]"

[32] Reclamación en la que se alega el incumplimiento por Ecuador del Convenio sobre pueblos indígenas y tribales, 1989 (núm. 169), presentada en virtud del artículo 24 de la Constitución de la OIT por la Confederación Ecuatoriana de Organizaciones Sindicales Libres (CEOSL). En OIT, 2007.

La finalidad de la consulta es visibilizar impactos en un marco de interculturalidad para proteger derechos. Asimismo debe orientarse a la obtención del consentimiento de los pueblos afectados respecto de la medida propuesta. De ahí que esta obligación estatal de consulta previa se extienda a la autorización administrativa que los estados suelen requerir para visar un proyecto de inversión, en aquellos casos en que la misma pueda alterar el hábitat de una comunidad indígena (Observatorio Ciudadano, 2010[33]).

Según los términos del Convenio, la consulta se considera una forma clave de diálogo que sirve para armonizar los intereses contrapuestos y evitar, así como también resolver, conflictos. Al interrelacionar los principios de consulta y participación, la consulta no implica sólo el derecho de reaccionar sino, también el derecho de proponer; los pueblos indígenas tienen derecho a decidir cuáles son sus propias prioridades para el proceso de desarrollo y, en consecuencia, a ejercer control sobre su propio desarrollo económico, social y cultural (OIT, 2009[34]).

De acuerdo al Artículo 6 del Convenio, el objetivo de las consultas es alcanzar acuerdos o lograr el consentimiento. En otras palabras, es necesario que los acuerdos o el consentimiento sean la meta a alcanzar de las partes, para lo que es fundamental que existan verdaderos esfuerzos para alcanzar acuerdos o lograr consentimientos […]. Las consultas y la participación son componentes fundamentales de un proceso de consentimiento. Las consultas deben celebrarse de buena fe. Las partes deben establecer un diálogo que les permita hallar soluciones adecuadas en una atmósfera de respeto recíproco con buena fe, y una participación plena y equitativa. Las consultas requieren tiempo y un sistema eficaz de comunicación entre las partes interesadas. Los pueblos indígenas deben poder participar mediante sus representantes libremente elegidos y sus instituciones consuetudinarias o de otra índole. La inclusión de una perspectiva de género y la participación de las mujeres indígenas son fundamentales, así como la participación de los niños y los jóvenes, según corresponda. Este proceso puede incluir la opción de negar el consentimiento. Se entiende que el consentimiento con un acuerdo por parte de los pueblos indígenas implica que lo han comprendido razonablemente (OIT, 2009).

De acuerdo al Artículo 6 del Convenio, el objetivo de las consultas es alcanzar acuerdos o lograr el consentimiento. En otras palabras, es necesario que los acuerdos o el consentimiento sean la meta a alcanzar de las partes, para lo que es fundamental que existan verdaderos esfuerzos para alcanzar acuerdos o lograr consentimientos […]. Las consultas y la participación son componentes fundamentales de un proceso de consentimiento. Las consultas deben celebrarse de buena fe. Las partes deben establecer un diálogo que les permita hallar soluciones adecuadas en una atmósfera de respeto recíproco con buena fe, y una participación plena y equitativa. Las consultas requieren tiempo y un sistema eficaz de comunicación entre las partes interesadas. Los pueblos indígenas deben poder participar mediante sus representantes libremente elegidos y sus instituciones consuetudinarias o de otra índole. La inclusión de una perspectiva de género y la participación de las mujeres indígenas son fundamentales, así como la participación de los niños y los jóvenes, según corresponda. Este proceso puede incluir la opción de negar el consentimiento. Se entiende que el consentimiento con un acuerdo por parte de los pueblos indígenas implica que lo han comprendido razonablemente (OIT, 2009).

[33] Observatorio Ciudadano, 2010. Las implicancias de la Ratificación del Convenio Nº 169 de la OIT en Chile.
[34] OIT, 2009. Los Derechos de los Pueblos Indígenas y Tribales en la Práctica.

Como principio rector la OIT ha establecido que los pueblos indígenas y tribales no deberán ser trasladados de sus tierras. En el evento de producirse la reubicación, ésta tendrá lugar a título de medida excepcional y en circunstancias que se consideren inevitables (Relator Especial sobre la Situación de los Derechos Humanos y las Libertades Fundamentales de los Indígenas, 2009[35]).

En Chile existen dos instrumentos que reglamentan la Consulta Indígena: el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) [36] y el Reglamento que Regula el Procedimiento de Consulta Indígena[37]. Ambos han estado sujetos a las críticas del mundo indígena en forma transversal, según consta en diversos medios de comunicación[38]. Las principales críticas orientan a que están por debajo de los estándares internacionales del derecho a consulta y por carecer de procedimientos de consulta validados por los pueblos indígenas.

### 5.5.3.3. Judicialización de Proyectos

La falta de consulta vista por parte de los pueblos indígenas en el diseño de los instrumentos antes nombrados es lo que finalmente ha llevado a la judicialización de los proyectos, por lo que se considera que seguir solo el camino del reglamento que regula el procedimiento de consulta indígena o del que regula la consulta en el marco del SEIA, no solo significa no contar con las confianzas del pueblo indígena, sino también el retraso en la puesta en marcha de los proyectos y la inversión de fondos del Estado en largos procesos judiciales, que incluyen instancias tanto nacionales como internacionales.

Esta judicialización es ejemplificada en varios casos, en que la jurisprudencia de la Corte Suprema "*comenzó a dictar resoluciones en las que comprendía a la consulta del Convenio 169 como estándares distintivos, que no subsumen en otras reglamentaciones ya existentes en la legislación chilena. Ya no bastaría con cumplir con los procedimientos de participación ciudadana de la legislación ambiental o de otros cuerpos normativos: se requiere dar cumplimiento al estándar de la consulta, contemplado en el artículo 6 del Convenio, el que es diferente al existente en leyes domésticas*", a pesar que en general la jurisprudencia de los tribunales chilenos ha sido variable (Urrejola, 2013[39]).

---

[35] Relator Especial sobre la Situación de los Derechos Humanos y las Libertades Fundamentales de los Indígenas, 2009. Principios Internacionales Aplicables a la Consulta en Relación con la Reforma Constitucional en Materia de Derechos de los Pueblos Indígenas en Chile. En: Observatorio Ciudadano, 2010.

[36] Decreto 40 de 2013 del Ministerio del Medio Ambiente, cuya entrada en vigencia corresponde al 24 de diciembre de 2013.

[37] Decreto Supremo Nº 66 de 2013 del Ministerio de Desarrollo Social.

[38] Por ejemplo: Comunidades Critican Firma del Reglamento de Consulta Indígena, disponible en: <http://radio.uchile.cl/2013/11/23/comunidades-critican-firma-del-reglamento-de-consulta-indigena-es-un-acto-de-mala-fe>; Kawésqar Califican de Inconstitucional el Reglamento de Consulta Indígena Firmado por Piñera, disponible en: <http://www.radiodelmar.cl/rdm_2012/index.php/noticias/2955-kawesqar-califican-de-inconstitucional-el-reglamento-de-consulta-indigena-firmado-por-pinera.html>; Pueblos Originarios y Comunidades Rechazan Oficialización del Reglamento de Consulta Indígena, disponible en: <http://www.eldinamo.cl/2013/11/25/indigenas-y-comunidades-rechazan-oficializacion-del-reglamento-de-consulta-indigena/>. Todos los sitios visitados el 3 de diciembre de 2013.

[39] Urrejola, 2013. Jurisprudencia de la Corte Suprema. En: CURSO Pueblos Originarios: Convenio 169 y Políticas Públicas: 16, 17 y 18 de octubre de 2013. Santiago, FLACSO.

Algunos ejemplos en que la Corte Suprema ha dejado sin efecto medidas administrativas del Estado son la sentencia que acoge un recurso a favor de las comunidades mapuches de Lanco, Región de Los Ríos, en el caso del Proyecto Estación de Transferencia de Residuos Sólidos Lanco – Panguipulli y la decisión que invalida una resolución de la COREMA de Antofagasta en cuya virtud se actualizaba el Plan Regulador Comunal de San Pedro de Atacama. También están los casos a nivel internacional en los que ha intervenido la Comisión Interamericana de Derechos Humanos y la Corte Interamericana de Derechos Humanos, tales como el caso de Ángela Poma Poma con Perú y el caso Sarayaku con Ecuador.

#### 5.5.3.4. Recomendación

Es por lo anteriormente expuesto que se considera el proceso de participación y consulta debe considerarse un proceso continuo, que debe ser diseñado entre las instituciones representativas de los pueblos indígenas que se sientan parte del territorio, y el Estado a través de sus instituciones, quien es el mandatado a consensuar un procedimiento con las comunidades indígenas y llevar a cabo el proceso de consulta.
Atendiendo entonces a los distintos aspectos previamente señalados es que se propone efectuar una consulta a las organizaciones indígenas antes del inicio de la etapa de Factibilidad del proyecto, de manera de acordar con éstas los alcances de los TR's cosa que no se contrapongan con los objetivos de los beneficiarios de esta política del Estado, especialmente considerando que el consentimiento es un estándar vinculante cuando las medidas van a favor de los Pueblos Indígenas.

## *5.6. Conclusiones y Recomendaciones*

Se ha desarrollado el Estudio de Participación Ciudadana del Estudio de Prefactibilidad del Proyecto Construcción Embalse Pintanane en Quebrada de Aroma, comuna de Huara, obteniéndose las siguientes conclusiones y recomendaciones:

13. *Necesidad de contar con una "contraparte social".* Es posible sostener, a partir de la ejecución del Estudio de Prefactibilidad del Proyecto "Construcción Embalse Pintanane en Quebrada de Aroma, Huara", que se hace no sólo necesario en general, sino que también con algún grado de urgencia, contar con una contraparte social (comunitaria, organizacional u otra denominación equivalente). Dadas las características de la iniciativa estudiada en el área, el tipo organizacional más pertinente en este contexto será indudablemente el de "organización de usuarios de aguas" –en cualquiera de las formas específicas, consignadas en el Código de Aguas- a fin de que los organismos del Estado tengan la posibilidad cierta de interlocutar con una o más organizaciones de usuarios de aguas (OUA's) en la quebrada de Aroma en particular y/o en la pampa del Tamarugal, en general. La situación existente durante la etapa de prefactibilidad del presente Proyecto, es la completa ausencia de OUA's u otra organización comunitaria o de otro carácter que ya sea en función de sus integrantes, amplia base societaria u otra elemento distintivo, pudiera ser efectivamente validada como contraparte social en el ámbito de la gestión de los recursos hídricos en el área de estudio. Independiente de cuál sea el escenario futuro, ya sea pasando a etapa de

factibilidad del Proyecto así como cualquier otra alternativa, se hace necesario promover e impulsar la conformación de OUA's en el territorio. La conformación de una o más de este tipo de organizaciones no sólo significará la efectiva presencia de una contraparte social para las etapas siguientes de este mismo Proyecto u otra iniciativa en el ámbito de los recursos hídricos, sino que –en la medida de que esta/s naciente/s organización/es cuente/n con el acompañamiento y asesoría pertinentes- se podrá anticipar e ir perfilando futuros escenarios en los se requiera de organizaciones sólidas para la gestión / administración de infraestructura de riego u otros requerimientos en la materia.

14. *Profundizar análisis en torno de la tenencia de la tierra.* Se recomienda estudiar con mayor profundidad la situación de la tenencia de la tierra –uso efectivo- versus la propiedad jurídica de ésta, ya que se han observado diferencias considerables entre la información "oficial", proporcionada por Bienes Nacionales, y el uso u ocupación efectiva de la tierra. El área de estudio se caracteriza por estar ubicada en un sector rural de la comuna de Huara, el cual por sus características geomorfológicas y climáticas, albergó en el pasado actividad agrícola y ganadera. Esta actividad aún se mantiene en la Quebrada, sin embargo con intensidad decreciente en el tiempo. Se pueden encontrar algunos agricultores de ascendencia indígena aymara que cultivan el lecho del río en los sectores de Aroma, Misticsa, Pailca, Cala Cala, y Ariquilda, encontrándose también algunos sectores en los que se desarrolló actividad agrícola en el pasado (en este caso se suma también el sector de Curaña), encontrándose eras abandonadas, pircas o construcciones tipo corral que hacen suponer también una mayor presencia de uso ganadero de la quebrada en el pasado. Los agricultores que ocupan actualmente estos sectores reconocen límites a los terrenos de los que son tenedores y los de sus vecinos, y han manifestado el uso consuetudinario de estas tierras por parte de sus antepasados. Para el caso específico de la quebrada de Aroma, fue posible constatar que la propiedad jurídica no necesariamente les corresponde, siendo que para 10 propiedades estudiadas, solamente dos son reconocidas como regularizadas en su dominio por parte del Ministerio de Bienes Nacionales.

15. *Atender a las particularidades del contexto del Proyecto.* Es necesario tener en consideración un elemento de carácter transversal y con un sin número de consecuencias en los distintos ámbitos del Proyecto, mucho más allá de la sola "ingeniería" y por ello con múltiples aristas comunicacionales, políticas, culturales, entre muchas otras, y es el hecho de que el sistema acuífero de la pampa del Tamarugal representa la fuente de agua no sólo para el consumo humano en las distintas concentraciones urbanas de la Región de Tarapacá sino que también para las actividades extractivas que representan a su vez el motor de la estructura económica regional: la minería. Es este un elemento que es necesario tener siempre a la vista y que al menos en parte, explica algunas otras particularidades en la Región, con posible incidencia en

posteriores etapas del Proyecto y que se enuncian sucintamente a continuación:

a) El Consejo Regional de Tarapacá, que al igual que en el resto del país ha sido recientemente generado por un mecanismo de elección universal, demanda un rol más activo y protagónico en el desarrollo del Proyecto, no sólo por haber recursos del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) involucrados en su etapa de prefactibilidad, sino que por la creciente relevancia (sensibilidad) que tiende a tomar este o cualquier otro proyecto en torno del "agua" en la Región.

b) A diferencia de la mayor parte del resto de las regiones del país, en la de Tarapacá existe un centro altamente especializado y con un posicionamiento creciente en el ámbito científico regional y que será necesario tener en consideración en las etapas siguientes del Proyecto. Es el caso del Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos (CIDERH), dependiente de la Universidad Arturo Prat y que cuenta con financiamiento del Gobierno Regional y de distintas empresas mineras con presencia en la Región.

c) La realización de la denominada "Marcha por el Agua", la manifestación realizada durante la sesión de la Comisión de Fomento Productivo del Consejo Regional en la que se analizaba el presente Proyecto, entre otras actividades de movilización ciudadana en la Región -la mayor parte de éstas, en la propia capital regional, Iquique- así como la articulación de la propia Comunidad de Pueblos Indígenas Unidos de las Quebradas de Aroma, Tarapacá y Coscaya, quienes dicen representar a "*23 pueblos y más de 3 mil personas*", más allá de situaciones formales y/o grado de representatividad, son indicadores claros de una forma distinta de enfrentar situaciones potencialmente conflictivas que pudieran afectar a los poblados del interior. Esto es, desde la capital regional, con movilizaciones ciudadanas y de forma integral, no necesariamente frente a cada fuente de conflicto en particular y/o de forma separada.

16. *Generar mecanismos claros y validados entre los distintos actores para la entrega de los derechos de aguas que se creen.* Según lo expresado por distintos actores en los variados mecanismos de participación ciudadana aplicados, se deberían generar, agregan, "garantías por parte del Estado" en cuanto a la reserva de agua para el proyecto y a la entrega de los derechos de aprovechamiento que genere este tipo de proyectos a los agricultores, y más específicamente a las comunidades indígenas ubicadas en la cuenca estudiada. Solo de esta manera se podrán reconstruir y/o acrecentar las confianzas hacia el Estado y sus instituciones representativas para este tipo de proyectos.

17. *Considerar proceso de consulta indígena según estándares del Convenio 169.* En lo que sigue del Proyecto, debe implementarse un proceso de participación y consulta indígena según los estándares del Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), esto en pos de la

recomendación efectuada por la Corte Interamericana de Derechos Humanos, en cuanto “se debe consultar [a los pueblos indígenas] en las primeras etapas del plan… y no únicamente cuando surja la necesidad de obtener la aprobación de la comunidad”40. Tanto los poseedores de los derechos de aprovechamiento de aguas, los dueños y/o usufructuarios de algunos de los terrenos afectados y un importante porcentaje de los agricultores potencialmente beneficiarios corresponden a organizaciones y/o personas de ascendencia indígena del pueblo Aymara.

El proceso de participación y consulta debe estar íntimamente ligado al desarrollo de la ingeniería del proyecto, por lo que los procesos deben ser consensuados con el pueblo afectado, a través de sus instituciones representativas, idealmente en forma previa a la próxima etapa de factibilidad, en caso de implementarse. La propuesta en este sentido es la conformación de una mesa de trabajo con los representantes y/o líderes de las organizaciones que forman parte del área afectada en un proceso de autodeterminación y tal como se indica anteriormente, en el marco de un proceso previamente consensuado con el pueblo afectado en esta instancia, de manera de obtener como producto de este trabajo los aspectos distintivos de los que serán posteriormente, los “términos de referencia” de la etapa siguiente del Proyecto, en concordancia con las inquietudes de las comunidades indígenas afectadas directamente. Así entonces, se propone “anticipar” una posible fuente de conflicto y de esta forma intentar atenuar el habitual reclamo inicial de parte de las comunidades, en orden a recién enterarse de este tipo de proyectos una vez que han sido licitados y ya adjudicados a una empresa consultora. En definitiva, se recomienda la inclusión expresa del proceso de “consulta indígena”, ya sea como parte del mismo componente PAC ó bien como un apartado diferenciado, puesto que probablemente la sola omisión de éste –en una siguiente etapa del Proyecto- generaría una potencial fuente de conflicto.
Se debe destacar que es el Estado de Chile, mediante sus instituciones, quien debe implementar la Consulta Indígena, cuyo procedimiento debe ser consensuado con las comunidades indígenas afectadas y el Estado es quien debe disponer los recursos necesarios para su implementación. Adicionalmente, el carácter de la consulta tendría que ser vinculante, ya que la medida tiene como finalidad ir en favor de los Pueblos Indígenas.

# 18. evaluación económica

## *18.1. Introducción*

En este capítulo se presenta la evaluación económica del proyecto, considerándose los costos y beneficios determinados en las distintas etapas del estudio. El análisis incluye el cálculo de

[40] Sentencia caso pueblo indígena Kichwa de Sarayaku vs. Ecuador, año 2012.

los indicadores para diferentes alternativas de embalse, para luego desarrollar análisis de sensibilidad y de riesgo a la mejor alternativa con mejores resultados. La evaluación se realiza utilizando el método del presupuesto, el que es complementado con un análisis del efecto de cada alternativa en el valor de la tierra y en las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas. Las especificaciones y requerimientos de estos métodos se basan en los siguientes documentos.

- Normas de evaluación indicadas en los Términos de Referencias.
- Manual para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego (CNR, 2011)
- Metodología para la Formulación y Evaluación Socioeconómica de Embalses y Obras Hidráulicas Anexas con Fines Múltiples (MIDEPLAN, 2011).
- Metodología de Valoración de Embalses y Obras Hidráulicas Anexas en Uso (MIDEPLAN, 2011).

## *18.2. Indicadores de Rentabilidad*

El principal indicador de rentabilidad en la evaluación de proyectos corresponde al Valor Actual Neto (VAN), el que se priorizará al momento de seleccionar la alternativa óptima económica. Esto es debido a que es un indicador que permite comparar la generación de riqueza en términos absolutos de proyectos, independiente de la magnitud de la inversión. Además, como complemento, se determinará la Tasa Interna de Retorno (TIR), la relación VAN/Inversión (VAN/I) y el coeficiente de Guttinger n/k. Estos indicadores son comúnmente utilizados en este tipo de evaluación, pero presentan dificultades para comparar proyectos con distinto nivel de inversión.
En general, el VAN se calcula con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{i=1}^{30} \left( \frac{B_i - O_i - I_i}{(1+r)^i} \right) - I$$

Donde:

VAN : Valor actual neto

B : Beneficios del proyecto

$I_0$ : Inversión inicial

$O_i$ : Operación y mantención anual al año i

$I_i$ : Inversión anual (durante el período de construcción)

r : Tasa de descuento

Por otra parte, la TIR se calcula como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero:

$$\sum_{i=1}^{30}\left(\frac{B_i - O_i - I_i}{(1+TIR)^i}\right) - I_0 = 0$$

Adicionalmente el IVAN se calcula como la razón entre el VAN calculado anteriormente y la inversión actualizada ($I_{act}$) dada por:

$$I_{act} = \sum_{i=1}^{30}\frac{I_i}{(1+r)^i} + I_0$$

Por último, el coeficiente de Guttinger queda dado por:

$$n/_k = \frac{\sum_i Flujos\ Actualizados\ Positivos_i}{|\sum_i Flujos\ Actualizados\ Negativos_i|}$$

Cuando n/k es >1, el proyecto es rentable.

## *18.3. Condiciones de evaluación*

Los parámetros básicos para el cálculo de estos indicadores son los costos de inversión y mantenimiento, el beneficio anual esperado y la tasa de descuento. Ésta última toma valores distintos dependiendo del uso objetivo del proyecto y el tipo de precios (privados o sociales) evaluados, los que de acuerdo a la CNR corresponden a los presentados en el Cuadro 17.3-1. Se considera un horizonte de evaluación igual a 30 años, y no se consideran impuestos de tipo alguno.

Por último, se considera un nivel de precios al 1 de enero de 2014, el que queda dado por un dólar de $ 524,61 y una UF de $ 23.312,57.

**CUADRO 18.3-1**

**TASAS DE DESCUENTO CONSIDERADAS**

| Uso | Social | Privada |
|---|---|---|
| **Riego** | 6 | 12 |
| **Energía** | 6 | 10 |
| **Agua Potable** | 6 | 7 |
| **Control Crecidas** | 6 | 6 |

**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.**

## *18.4. Métodos de Evaluación*

La evaluación económica se realiza con tres métodos:

**A.** **Método del Presupuesto:** Es el método más tradicional utilizado, en el cual el agua es considerada un insumo de la producción de otro bien, en este caso los cultivos regados. De esta forma, el beneficio del proyecto se traduce en las diferencias de la producción agrícola, en términos de los márgenes netos económicos, que se estiman a raíz de la utilización del agua en situaciones Con y Sin Proyecto.

B. **Método del Valor Incremental de la Tierra:** Este método se basa en el enfoque de los Precios Hedónicos, en el cual el precio de un bien se debe a una serie de tributos de dicho bien, entre los que se encuentran la disponibilidad de agua, el tipo de suelo, la aptitud de uso y los cultivos que en la práctica se desarrollan. En un escenario con proyecto cada una de las características mencionadas deberían incrementar el valor de la tierra, por lo que se asume que este correspondería a su beneficio.

C. **Método de las Transacciones de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas:** En este caso se considera el mercado del agua para determinar el valor económico del agua asociada al proyecto, en cuanto a un mayor volumen disponible o el costo evitado para la compra de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas.

Cabe destacar que los métodos del valor incremental de la tierra y las transacciones de los derechos de aprovechamiento de aguas son utilizados como revisión y comparación con el método del presupuesto, el cual determina la rentabilidad directa del proyecto. Además, para evaluar los efectos en la generación de energía, control de crecidas y suministro de agua potable se utiliza solo el concepto base del método del presupuesto.

## *18.5. Descripción de las alternativas de proyecto a evaluar*

Para efectos de esta evaluación económica, se consideran las tres alternativas de ubicación estudiadas en el presente proyecto, con 5 tamaños posibles para cada una (3; 6; 9; 12 y 15 $hm^3$ de volumen útil), tanto para su uso en riego, como también para su uso adicional para control de crecidas y generación hidroeléctrica. Los sitios corresponden a los siguientes:

- Alternativa Sitio 1: a unos 3,45 km aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte.
- Alternativa Sitio 2: a unos 3,9 km aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte
- Alternativa Sitio 3: a unos 4,1 km aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte

Además, dadas las condiciones de calidad de aguas imperantes en la zona, las cuales restringen en forma gravitante el desarrollo agropecuario futuro, se ha decidido evaluar un escenario en el cual se mantiene la calidad de aguas actual y otro con una inversión en obras y tratamiento para el mejoramiento de la calidad de aguas que permita incorporar cultivos más rentable al área de expansión agrícola.

## *18.6. Costos*

### 18.6.1. Introducción

Los costos considerados en el análisis económico son los siguientes:

- Obras civiles para uso en el riego:
    - Embalse de Riego, incluidos los costos de los caminos necesarios para la construcción y obras para abordar interferencias a través de variantes de caminos.
    - Obras de conducción, que incluye la construcción de nuevos canales, incluida la red secundaria, la reparación o mejoramiento de otros, la construcción de los acueductos cerrados de conducción, y la construcción de los sistemas de aforo.
- Inversión adicional en obras de embalse si se considera un volumen adicional para control de crecidas.
- Inversión en equipos, e instalación de una mini central hidroeléctrica, incluidas las obras civiles correspondientes.
- Costos de operación y mantenimiento de las obras de embalse y conducción.
- Expropiaciones y servidumbres.
- Inversión y mantenimiento de una eventual planta de tratamiento de aguas, la que se considerará en una evaluación adicional del proyecto.
- Costos relacionados con medidas de mitigación, manejo, monitoreo y compensación ambiental.
- Costos de Capacitación, Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica en el uso y mantenimiento de las obras, período de explotación provisional.

## 18.6.2. Costos de las Obras Civiles

## 18.6.2.1. Obras de Riego

Estos incluyen los costos de las obras de muro, vertedero, y obras de arte, by pass y entregas, además de todos los costos de caminos que es necesario construir para acceder a la construcción de las obras. En los Cuadros 17.6.2.2-1 a 17.6.2.2-3 se entregan las cifras finales a precios privados, para los tres sitios y 5 alternativas de tamaño (volúmenes útiles de 3, 6, 9, 12 y 15 $hm^3$), y en los Cuadros 17.6.2.2-4 a 17.6.2.2-6 se presenta la misma información a precios sociales. En los cuadros indicados, se entregan también los costos de las obras de conducción, incluidos los sistemas de aforos. Los presupuestos detallados se presentan en el Capítulo 12.

**CUADRO 18.6.2.1-1**
**RESUMEN COSTOS OBRAS DE EMBALSE Y CONDUCCIÓN (mill. $)**
**ALTERNATIVA SITIO 1**
**PRECIOS PRIVADOS**

| DESCRIPCIÓN | Costos por Capacidad de Embalse ALT1 ($) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3 $hm^3$ | 6 $hm^3$ | 9 $hm^3$ | 12 $hm^3$ | 15 $hm^3$ |
| Costo Muro y Obras Anexas | 14.081 | 16.345 | 17.344 | 18.606 | 20.999 |
| Costo Directo Total Acueductos | 1.693 | 2.429 | 2.638 | 2.970 | 2.970 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| Construcción de caminos: Variantes y Accesos | 1.454 | 1.759 | 1.889 | 1.948 | 2.012 |
| Sistema remoto de Aforos | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Costo Directo | 17.366 | 20.670 | 22.009 | 23.661 | 26.119 |
| Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%) | 7.815 | 9.302 | 9.904 | 10.648 | 11.754 |
| **Total neto** | 25.181 | 29.972 | 31.913 | 34.309 | 37.873 |

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 18.6.2.1-2
## RESUMEN COSTOS OBRAS DE EMBALSE Y CONDUCCIÓN (mill. $)
## ALTERNATIVA SITIO 2
## PRECIOS PRIVADOS

| DESCRIPCIÓN | Costos por Capacidad de Embalse ALT2 ($) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3 hm³ | 6 hm³ | 9 hm³ | 12 hm³ | 15 hm³ |
| Costo Muro y Obras Anexas | 15.442 | 18.002 | 20.687 | 23.178 | 24.383 |
| Costo Directo Total Acueductos | 1.693 | 2.429 | 2.638 | 2.970 | 2.970 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| Construcción de caminos: Variantes y Accesos | 1.609 | 1.909 | 2.134 | 2.259 | 2.334 |
| Sistema remoto de Aforos | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Costo Directo | 18.882 | 22.477 | 25.596 | 28.545 | 29.825 |
| Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%) | 8.497 | 10.115 | 11.518 | 12.845 | 13.421 |
| **Total neto** | 27.378 | 32.592 | 37.115 | 41.390 | 43.246 |

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 18.6.2.1-3
## RESUMEN COSTOS OBRAS DE EMBALSE Y CONDUCCIÓN (mill. $)
## ALTERNATIVA SITIO 3
## PRECIOS PRIVADOS

| DESCRIPCIÓN | Costos por Capacidad de Embalse ALT3 ($) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3 hm³ | 6 hm³ | 9 hm³ | 12 hm³ | 15 hm³ |
| Costo Muro y Obras Anexas | 16.521 | 18.189 | 18.936 | 21.431 | 23.199 |
| Costo Directo Total Acueductos | 1.693 | 2.429 | 2.638 | 2.970 | 2.970 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| Construcción de caminos: Variantes y Accesos | 1.868 | 2.040 | 2.393 | 2.479 | 2.517 |
| Sistema remoto de Aforos | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Costo Directo | 20.220 | 22.795 | 24.104 | 27.018 | 28.824 |
| Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%) | 9.099 | 10.258 | 10.847 | 12.158 | 12.971 |
| **Total neto** | 29.319 | 33.052 | 34.951 | 39.176 | 41.795 |

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 18.6.2.1-4
## RESUMEN COSTOS OBRAS DE EMBALSE Y CONDUCCIÓN (mill. $)
## ALTERNATIVA SITIO 1
## PRECIOS SOCIALES

| DESCRIPCIÓN | Costos por Capacidad de Embalse ALT1 ($) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3 hm³ | 6 hm³ | 9 hm³ | 12 hm³ | 15 hm³ |
| Costo Muro y Obras Anexas | 13.606 | 15.785 | 16.864 | 18.170 | 20.502 |
| Costo Directo Total Acueductos | 1.685 | 2.420 | 2.629 | 2.962 | 2.962 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 |
| Construcción de caminos: Variantes y Accesos | 1.335 | 1.614 | 1.733 | 1.787 | 1.846 |
| Sistema remoto de Aforos | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 |
| Costo Directo | 16.749 | 19.942 | 21.350 | 23.042 | 25.433 |
| Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%) | 7.537 | 8.974 | 9.608 | 10.369 | 11.445 |
| **Total neto** | 24.285 | 28.916 | 30.958 | 33.411 | 36.878 |

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 18.6.2.1-5
## RESUMEN COSTOS OBRAS DE EMBALSE Y CONDUCCIÓN (mill. $)
## ALTERNATIVA SITIO 2
## PRECIOS SOCIALES

| DESCRIPCIÓN | Costos por Capacidad de Embalse ALT2 ($) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3 hm³ | 6 hm³ | 9 hm³ | 12 hm³ | 15 hm³ |
| Costo Muro y Obras Anexas | 14.871 | 17.388 | 20.011 | 22.467 | 23.692 |
| Costo Directo Total Acueductos | 1.685 | 2.420 | 2.629 | 2.962 | 2.962 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 |
| Construcción de caminos: Variantes y Accesos | 1.477 | 1.751 | 1.957 | 2.072 | 2.140 |
| Sistema remoto de Aforos | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 |
| Costo Directo | 18.156 | 21.682 | 24.720 | 27.624 | 28.917 |
| Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%) | 8.170 | 9.757 | 11.124 | 12.431 | 13.013 |
| **Total neto** | 26.325 | 31.439 | 35.845 | 40.054 | 41.930 |

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 18.6.2.1-6**
**RESUMEN COSTOS OBRAS DE EMBALSE Y CONDUCCIÓN (mill. $)**
**ALTERNATIVA SITIO 3**
**PRECIOS SOCIALES**

| DESCRIPCIÓN | Costos por Capacidad de Embalse ALT3 ($) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3 $hm^3$ | 6 $hm^3$ | 9 $hm^3$ | 12 $hm^3$ | 15 $hm^3$ |
| Costo Muro y Obras Anexas | 15.837 | 17.546 | 18.298 | 20.785 | 22.537 |
| Costo Directo Total Acueductos | 1.685 | 2.420 | 2.629 | 2.962 | 2.962 |
| Construcción y Mejoramiento de Canales | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 |
| Construcción de caminos: Variantes y Accesos | 1.715 | 1.872 | 2.195 | 2.274 | 2.308 |
| Sistema remoto de Aforos | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 |
| Costo Directo | 19.360 | 21.961 | 23.245 | 26.143 | 27.930 |
| Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%) | 8.712 | 9.882 | 10.460 | 11.765 | 12.568 |
| **Total neto** | 28.072 | 31.843 | 33.705 | 37.908 | 40.498 |

Fuente: Elaboración propia.

## 18.6.2.2. Control de Crecidas

Esta inversión, corresponde al aumento de capacidad del embalse de riego, a fin de darle una capacidad adicional que tendrá como único fin el control de las crecidas, es decir, no se puede usar para regular agua para otros fines porque siempre debe estar disponible para recibir crecidas.
Ahora bien, se analizará 5 tamaños posibles de volúmenes útiles para riego, que son 3, 6, 9, 12 y 15 millones de m3. A ellos, se debe sumar el volumen muerto definido en 6 millones de m3. La máxima capacidad física que es posible dar a cada sitio es de:
Sitio 1: 26,3 $hm^3$, correspondiente a una presa de 60 metros de altura
Sitio 2: 38,9 $hm^3$, correspondiente a una presa de 75 metros de altura
Sitio 3: 31,0 $hm^3$, correspondiente a una presa de 74 metros de altura
Por lo tanto, según la alternativa de tamaño para riego, los volúmenes máximos para control de crecidas (cc) que es posible destinar en cada caso, son los siguientes:

Sitio 1:
- Alternativa 3 $hm^3$ útiles para riego: 17,3 $hm^3$ máx. para cc.
- Alternativa 6 $hm^3$ útiles para riego: 14,3 $hm^3$ máx. para cc.
- Alternativa 9 $hm^3$ útiles para riego: 11,3 $hm^3$ máx. para cc.
- Alternativa 12 $hm^3$ útiles para riego: 8,3 $hm^3$ máx. para cc.
- Alternativa 15 $hm^3$ útiles para riego: 5,3 $hm^3$ máx. para cc.

Sitio 2:
- Alternativa 3 $hm^3$ útiles para riego: 29,9 $hm^3$ máx. para cc.
- Alternativa 6 $hm^3$ útiles para riego: 26,9 $hm^3$ máx. para cc.
- Alternativa 9 $hm^3$ útiles para riego: 23,9 $hm^3$ máx. para cc.
- Alternativa 12 $hm^3$ útiles para riego: 20,9 $hm^3$ máx. para cc.
- Alternativa 15 $hm^3$ útiles para riego: 17,9 $hm^3$ máx. para cc.

Sitio 3:
- Alternativa 3 $hm^3$ útiles para riego: 22,0 $hm^3$ máx. para cc.

| | |
|---|---|
| Alternativa 6 $hm^3$ útiles para riego: | 19,0 $hm^3$ máx. para cc. |
| Alternativa 9 $hm^3$ útiles para riego: | 16,0 $hm^3$ máx. para cc. |
| Alternativa 12 $hm^3$ útiles para riego: | 13,0 $hm^3$ máx. para cc. |
| Alternativa 15 $hm^3$ útiles para riego: | 10,0 $hm^3$ máx. para cc. |

El análisis final, se efectúa para el sitio y tamaño seleccionados para riego, por cuanto el control de crecidas será un uso adicional, que no debe influir en la decisión sobre el lugar y tamaño del uso principal, riego.
En todo caso, el costo asociado al uso para el control de crecidas, será el que corresponda a la capacidad adicional. Ahora bien, si el embalse para riego no resulta rentable, se trataría de un embalse de control de crecidas exclusivamente, pero este no es objetivo del estudio.

### 18.6.3. Costos de Operación

Como costo de operación, se utilizó un valor típico para nivel de anteproyecto, tanto para las obras de embalse como para los de conducción, equivalente al 1% del costo directo de las obras.

### 18.6.4. Expropiaciones

Tal como se expresa en el Capítulo 14, los costos de expropiaciones son mínimos, alcanzan a $6.000.000, por cuanto se trata de construir en terrenos fiscales. Los costos de interferencias corresponden a variantes de caminos y se encuentran incluidos en los Cuadros 17.6.2.2-1 a 17.6.2.2-6.

### 18.6.5. Costos Mini central Hidroeléctrica

Una mini central no tiene factibilidad alguna en el lugar del embalse, por el alto costo de la línea de transmisión. Sin embargo, se pensó en darle utilidad a la energía generada en el mismo lugar, alimentando la planta de tratamiento de las aguas. Los costos de inversión son los siguientes:

| | | |
|---|---|---|
| Para Volumen útil 3 $hm^3$ | : | 485,02 mill $ |
| Para Volumen útil 6 $hm^3$ | : | 508,99 mill $ |
| Para Volumen útil 9 $hm^3$ | : | 535,16 mill $ |
| Para Volumen útil 12 $hm^3$ | : | 545,15 mill $ |
| Para Volumen útil 15 $hm^3$ | : | 558,97 mill $ |

Los valores determinados y las justificaciones para la no consideración de la mini central se presentan en detalle en el Capítulo 1.

### 18.6.6. Inversión en Mejoramiento Calidad de Aguas

Dada la alta restricción existente para los tipos de cultivos dada por la mala calidad de las aguas, se analizaron diferentes alternativas de mejoramiento, resultando los costos de inversión y de operación que se entregan en Cuadro 17.6.6-1 siguiente:

**CUADRO 17.6.6-1**
**RESUMEN COSTOS INVERSIÓN Y OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**
**PLANTA DE TRATAMIENTO (mill. $)**

| Item | 3 hm³ | 6 hm³ | 9 hm³ | 12 hm³ | 15 hm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| Costos Mejoramiento Aguas | 1.852 | 2.223 | 2.406 | 2.707 | 2.710 |
| Planta Osmosis Inversa | 15.981 | 21.058 | 24.298 | 25.658 | 26.888 |
| Op y Mant Mejoramiento Aguas | 1.796,40 | 2.362,80 | 2.688,00 | 2.841,60 | 2.973,60 |

Fuente: Elaboración Propia.

La determinación de las obras de mejoramiento se encuentra disponible en el Capítulo 10, en tanto que el presupuesto se presenta en el Capítulo 12.

### 18.6.7. Costos Ambientales

Los costos ambientales asociados a las obras fueron definidos en el Estudio de Análisis Ambiental (Volumen 4) y presentados además en el Capítulo 15 del Volumen 1. Estos costos se dependen tanto del tamaño de la presa, como del lugar donde se ubique, y también son diferentes si el riego realiza con la calidad de aguas actual o con calidad mejorada. En Cuadro 17.6.7-1, se resumen estos costos.

**CUADRO 17.6.7-1**
**COSTOS AMBIENTALES (mill. $)**

| Escenario | Alternativa | 3 hm³ | 6 hm³ | 9 hm³ | 12 hm³ | 15 hm³ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sin Mejoramiento de Calidad de Aguas | 1 | 1.145,45 | 1.338,68 | 1.440,53 | 1.523,83 | 1.719,83 |
| | 2 | 1.204,49 | 1.404,18 | 1.613,60 | 1.807,86 | 1.901,91 |
| | 3 | 1.288,66 | 1.418,72 | 1.476,99 | 1.671,61 | 1.809,56 |
| Con Mejoramiento de Calidad de Aguas | 1 | 2.005,09 | 2.471,39 | 2.747,58 | 2.903,96 | 3.166,19 |
| | 2 | 2.064,12 | 2.536,90 | 2.920,64 | 3.187,99 | 3.348,26 |
| | 3 | 2.148,29 | 2.551,44 | 2.784,04 | 3.051,74 | 3.255,91 |

Fuente: Elaboración Propia a partir de Estudio de Análisis Ambiental.

### 18.6.8. Capacitación, Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica

En los flujos agroeconómicos, están considerados todos los costos de este tipo relacionados con la producción y comercialización agrícola. A continuación, se entregan los correspondientes a estas partidas en lo que respecta al manejo de las obras civiles, período de explotación provisional de las obras.

Se entenderá, por tratarse de un embalse, que el período de explotación provisional conforme al DFL MOP Nº1.123 de 1981, será de 5 años, en los cuales se realizará la marcha blanca de la obra y se traspasará a los usuarios todo lo que necesitan para operar y mantenerla durante la explotación definitiva.

Para ello, será necesario como mínimo la presencia de un profesional capacitado, de preferencia joven, quien mantendrá un vehículo para operación e inspección diaria del embalse, y una pequeña oficina de terreno con una secretaria. La secretaria llevará los registros de la operación diaria y demás procedimientos administrativos de la oficina. Los costos se presentan en el Cuadro 17.6.8-1:

**CUADRO 17.6.8-1**
**COSTO CAPACITACIÓN ASISTENCIA TÉCNICA**
**Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

| Item | Costo Unitario | Unidad | Cantidad | Costo Anual | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Año 1 | Años 2 a 4 | Año 5 |
| Arriendo Oficina | 200.000 | $/mes | 1 | 2.400.000 | 2.400.000 | 2.400.000 |
| Honorarios profesional | 1.800.000 | $/mes | 1 | 21.600.000 | 21.600.000 | 21.600.000 |
| Secretaria | 350.000 | $/mes | 1 | 4.200.000 | 4.200.000 | 4.200.000 |
| Vehículo, camioneta doble tracción | 10.000.000 | $/unidad | 1 | 10.000.000 | | |
| Combustible | 250.000 | $/mes | 1 | 3.000.000 | 3.000.000 | 3.000.000 |
| Mantenimiento y seguro vehículo | 90.000 | $/mes | 1 | 1.080.000 | 1.080.000 | 1.080.000 |
| Equipamiento oficina | 1.500.000 | $/unidad | 1 | 1.500.000 | | |
| Materiales y gastos en servicios oficina | 100.000 | $/mes | 1 | 1.200.000 | 1.200.000 | 1.200.000 |
| Valor residual por venta vehículo y equipos oficina | 6.000.000 | $/unidad | 1 | | | -6.000.000 |
| **Total Anual** | | | | 44.980.000 | 33.480.000 | 27.480.000 |

Fuente: Elaboración Propia.

## *18.7. Beneficios*

### 18.7.1. Introducción

En esta sección se presentan y describen brevemente los beneficios considerados para la evaluación, los cuales se pueden resumir en los siguientes ámbitos:

- Riego:
  - Según Método del Presupuesto, tanto para la condición sin mejoramiento de la calidad del agua, como con mejoramiento
  - Según Método del Valor Incremental de la Tierra
  - Según Método del Incremento de las Transacciones de Derechos de Aguas
- Control de Crecidas
- Generación Hidroeléctrica

### 18.7.2. Beneficios Derivados del Riego

### 18.7.2.1. Beneficios Según Método del Presupuesto

Uno de los beneficios más importante de este proyecto es el aumento en la seguridad de riego. Lo anterior, en Situación Con Proyecto, permite por una parte mejorar la expresión del potencial productivo de los cultivos, además de incorporar cultivos de mayor rentabilidad los que sin la seguridad de riego necesaria presentarían un alto riesgo a la inversión.

El beneficio agroeconómico neto del proyecto se obtiene a partir de la sustracción entre los márgenes netos de las Situaciones Con y Sin Proyecto. Los valores de los márgenes se presentan en el estudio agroeconómico, en el cual también se entrega la información detallada según predio promedio, nivel tecnológico y sectores de riego.

En términos generales el efecto del proyecto se refleja en un importante aumento de superficie con 85% de seguridad de riego. El área de riego física actual, 20 ha, posee un 55,3% de seguridad de riego. El Cuadro 17.7.2.1-1 resume la superficie de riego actual y las superficies de riego futuras con 85% de seguridad de riego para cada alternativa de proyecto. Las áreas se obtuvieron a partir del modelo de simulación generado para el presente proyecto.

Por otra parte, en los Cuadros 17.7.2.1-2 y 17.7.2.1-3 se presenta un resumen, a precios de mercado (privados) y sociales, con los beneficios asociados al riego para las diferentes alternativas de proyecto, en términos del flujo económico neto con respecto a la Situación Sin Proyecto.

La metodología y los resultados detallados de los beneficios derivados del riego se presentan en el Estudio Agroeconómico (Volumen 3).

**CUADRO 18.7.2.1-1**
**SUPERFICIES DE RIEGO SEGÚN ALTERNATIVA**

| Escenario | Volumen Útil ($hm^3$) | Sup. Regada 85% (ha) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | S1 | S2 | TOTAL |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **SA-SSP** | 0 | 5,6 | 0,0 | 5,6 |
| **SCP Sin Mejoramiento** | 3 | 34,5 | 100,6 | 135,1 |
| | 6 | 34,5 | 161,1 | 195,6 |
| | 9 | 34,5 | 190,0 | 224,5 |
| | 12 | 34,5 | 206,9 | 241,4 |
| | 15 | 34,5 | 221,7 | 256,2 |
| **SCP Con Mejoramiento** | 3 | 34,5 | 83,3 | 117,8 |
| | 6 | 34,5 | 123,6 | 158,1 |
| | 9 | 34,5 | 149,7 | 184,2 |
| | 12 | 34,5 | 160,6 | 195,1 |
| | 15 | 34,5 | 170,6 | 205,1 |

**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE MODELO DE SIMULACIÓN Y OPERACIÓN.**

## CUADRO 18.7.2.1-2
## BENEFICIOS ASOCIADOS AL RIEGO
## PRECIOS DE MERCADO (MILL $)

| Año | Escenario Sin Mejoramiento Calidad de Aguas | | | | | Escenario Con Mejoramiento Calidad de Aguas | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 hm³ | 6 hm³ | 9 hm³ | 12 hm³ | 15 hm³ | 3 hm³ | 6 hm³ | 9 hm³ | 12 hm³ | 15 hm³ |
| 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | -15,0 | -17,3 | -18,5 | -19,1 | -19,7 | -34,9 | -41,2 | -45,3 | -47,0 | -48,6 |
| 2 | -3,6 | -6,1 | -7,3 | -8,0 | -8,6 | 2,1 | 5,6 | 7,9 | 8,9 | 9,8 |
| 3 | 6,1 | 7,8 | 8,6 | 9,1 | 9,5 | 7,7 | 10,3 | 12,0 | 12,7 | 13,4 |
| 4 | 6,4 | 6,2 | 6,0 | 5,9 | 5,8 | 57,1 | 73,4 | 84,0 | 88,4 | 92,4 |
| 5 | 23,0 | 35,3 | 41,1 | 44,5 | 47,5 | 77,2 | 96,3 | 108,6 | 113,8 | 118,5 |
| 6 | 43,9 | 68,1 | 79,6 | 86,4 | 92,3 | 128,7 | 157,7 | 176,4 | 184,3 | 191,4 |
| 7 | 55,2 | 83,0 | 96,2 | 103,9 | 110,6 | 182,9 | 228,7 | 258,3 | 270,7 | 282,0 |
| 8 | 60,5 | 91,7 | 106,5 | 115,2 | 122,7 | 257,5 | 337,0 | 388,4 | 409,9 | 429,6 |
| 9 | 74,0 | 113,3 | 132,0 | 143,0 | 152,5 | 319,1 | 425,6 | 494,6 | 523,4 | 549,8 |
| 10 | 76,0 | 116,0 | 135,0 | 146,2 | 155,9 | 359,1 | 484,9 | 566,4 | 600,5 | 631,7 |
| 11 | 77,7 | 117,8 | 136,8 | 147,9 | 157,7 | 375,7 | 508,7 | 594,9 | 630,8 | 663,8 |
| 12 | 75,0 | 114,7 | 133,5 | 144,6 | 154,2 | 417,2 | 562,5 | 656,6 | 695,9 | 731,9 |
| 13 | 74,0 | 113,3 | 132,0 | 143,0 | 152,5 | 423,9 | 568,9 | 662,9 | 702,1 | 738,1 |
| 14 | 116,3 | 175,6 | 203,8 | 220,3 | 234,8 | 433,2 | 578,4 | 672,5 | 711,7 | 747,7 |
| 15 | 87,1 | 174,5 | 203,0 | 218,1 | 234,4 | 408,5 | 551,3 | 643,8 | 682,4 | 717,8 |
| 16 | 109,2 | 169,2 | 193,5 | 187,5 | 183,3 | 424,1 | 569,3 | 663,4 | 702,6 | 738,6 |
| 17 | 112,0 | 137,9 | 47,6 | 30,9 | 7,9 | 488,7 | 663,3 | 776,3 | 823,6 | 866,9 |
| 18 | 57,0 | 0,7 | -25,6 | -43,4 | -60,0 | 372,5 | 508,6 | 596,8 | 633,6 | 667,4 |
| 19 | 82,5 | 72,1 | 61,1 | 57,0 | 59,3 | 350,6 | 467,8 | 543,7 | 575,4 | 604,5 |
| 20 | 111,4 | 171,4 | 200,0 | 216,7 | 231,3 | 486,9 | 661,3 | 774,3 | 821,5 | 864,8 |
| 21 | 104,3 | 153,1 | 206,8 | 223,5 | 238,1 | 439,6 | 598,1 | 700,8 | 743,7 | 783,1 |
| 22 | 112,5 | 172,2 | 200,6 | 217,2 | 231,7 | 458,4 | 628,0 | 737,9 | 783,8 | 825,8 |
| 23 | 114,5 | 173,8 | 202,1 | 218,6 | 233,0 | 430,0 | 590,0 | 693,5 | 736,8 | 776,5 |
| 24 | 107,2 | 166,5 | 194,7 | 211,2 | 225,7 | 432,0 | 596,4 | 702,9 | 747,4 | 788,2 |
| 25 | 109,2 | 169,2 | 197,7 | 214,5 | 229,1 | 412,4 | 567,4 | 667,8 | 709,7 | 748,2 |
| 26 | 113,1 | 173,1 | 201,7 | 218,4 | 233,1 | 412,3 | 558,1 | 652,5 | 691,9 | 728,1 |
| 27 | 108,2 | 167,8 | 196,2 | 212,8 | 227,4 | 402,5 | 539,0 | 627,4 | 664,3 | 698,2 |
| 28 | 111,2 | 170,5 | 198,7 | 215,3 | 229,7 | 429,7 | 575,7 | 670,2 | 709,7 | 745,9 |
| 29 | 114,5 | 176,2 | 204,5 | 221,0 | 235,4 | 405,5 | 537,7 | 623,3 | 659,0 | 691,8 |
| 30 | 109,3 | 169,3 | 197,9 | 214,6 | 229,3 | 465,2 | 630,2 | 737,1 | 781,7 | 822,7 |

**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DEL ESTUDIO AGROECONÓMICO.**

## CUADRO 18.7.2.1-3
## BENEFICIOS ASOCIADOS AL RIEGO
## PRECIOS SOCIALES (MILL $)

| Año | Escenario Sin Mejoramiento Calidad de Aguas | | | | | Escenario Con Mejoramiento Calidad de Aguas | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 hm³ | 6 hm³ | 9 hm³ | 12 hm³ | 15 hm³ | 3 hm³ | 6 hm³ | 9 hm³ | 12 hm³ | 15 hm³ |
| 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | -13,9 | -15,8 | -16,7 | -17,2 | -17,6 | -29,8 | -34,4 | -37,5 | -38,7 | -39,9 |
| 2 | -0,5 | -1,4 | -1,8 | -2,1 | -2,3 | 12,2 | 18,2 | 22,1 | 23,8 | 25,3 |
| 3 | 11,6 | 16,0 | 18,0 | 19,2 | 20,3 | 27,9 | 35,5 | 40,4 | 42,5 | 44,3 |
| 4 | 16,7 | 21,6 | 23,9 | 25,3 | 26,5 | 85,9 | 108,8 | 123,6 | 129,8 | 135,5 |
| 5 | 36,8 | 56,3 | 65,6 | 71,0 | 75,8 | 117,5 | 146,5 | 165,3 | 173,1 | 180,3 |
| 6 | 59,4 | 91,8 | 107,2 | 116,3 | 124,1 | 181,6 | 225,4 | 253,8 | 265,6 | 276,5 |
| 7 | 72,3 | 109,2 | 126,8 | 137,0 | 146,0 | 249,9 | 317,0 | 360,4 | 378,6 | 395,2 |
| 8 | 79,1 | 120,4 | 140,1 | 151,6 | 161,6 | 334,6 | 440,3 | 508,7 | 537,3 | 563,5 |
| 9 | 92,7 | 142,1 | 165,6 | 179,4 | 191,4 | 402,9 | 538,9 | 626,9 | 663,7 | 697,5 |
| 10 | 94,7 | 144,8 | 168,7 | 182,7 | 194,9 | 446,2 | 603,2 | 704,8 | 747,3 | 786,2 |
| 11 | 96,5 | 146,6 | 170,5 | 184,4 | 196,6 | 466,2 | 632,0 | 739,3 | 784,2 | 825,3 |
| 12 | 93,7 | 143,5 | 167,2 | 181,0 | 193,1 | 507,7 | 685,7 | 801,0 | 849,2 | 893,4 |
| 13 | 92,7 | 142,1 | 165,6 | 179,4 | 191,4 | 514,4 | 692,2 | 807,3 | 855,4 | 899,5 |
| 14 | 135,0 | 204,4 | 237,4 | 256,7 | 273,7 | 523,7 | 701,7 | 816,9 | 865,0 | 909,2 |
| 15 | 105,9 | 203,3 | 236,7 | 254,5 | 273,3 | 499,0 | 674,6 | 788,2 | 835,7 | 879,2 |
| 16 | 127,9 | 198,0 | 227,1 | 224,0 | 222,2 | 514,6 | 692,6 | 807,8 | 855,9 | 900,1 |
| 17 | 130,7 | 166,7 | 81,2 | 67,4 | 46,8 | 579,2 | 786,6 | 920,8 | 976,9 | 1.028,3 |
| 18 | 75,6 | 29,4 | 8,0 | -7,0 | -21,1 | 463,0 | 631,9 | 741,3 | 786,9 | 828,9 |
| 19 | 101,2 | 100,9 | 94,7 | 93,5 | 98,2 | 441,1 | 591,1 | 688,2 | 728,8 | 766,0 |
| 20 | 130,1 | 200,3 | 233,7 | 253,2 | 270,3 | 577,4 | 784,6 | 918,8 | 974,8 | 1.026,2 |
| 21 | 123,0 | 181,9 | 240,4 | 260,0 | 277,1 | 530,1 | 721,4 | 845,3 | 897,0 | 944,5 |
| 22 | 131,2 | 201,0 | 234,2 | 253,6 | 270,7 | 548,9 | 751,3 | 882,3 | 937,1 | 987,3 |
| 23 | 133,2 | 202,6 | 235,6 | 255,0 | 271,9 | 520,5 | 713,2 | 838,0 | 890,1 | 937,9 |
| 24 | 125,9 | 195,3 | 228,3 | 247,6 | 264,6 | 522,5 | 719,7 | 847,4 | 900,7 | 949,6 |
| 25 | 127,9 | 198,0 | 231,4 | 250,9 | 268,0 | 502,9 | 690,7 | 812,2 | 863,0 | 909,6 |
| 26 | 131,9 | 202,0 | 235,4 | 254,9 | 272,0 | 502,8 | 681,3 | 796,9 | 845,2 | 889,5 |
| 27 | 126,9 | 196,6 | 229,9 | 249,3 | 266,3 | 493,0 | 662,2 | 771,9 | 817,7 | 859,7 |
| 28 | 129,9 | 199,3 | 232,3 | 251,7 | 268,6 | 520,2 | 698,9 | 814,6 | 863,0 | 907,3 |
| 29 | 133,1 | 205,0 | 238,1 | 257,4 | 274,3 | 496,0 | 660,9 | 767,7 | 812,4 | 853,3 |
| 30 | 128,1 | 198,2 | 231,6 | 251,1 | 268,2 | 555,8 | 753,5 | 881,6 | 935,0 | 984,1 |

**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DEL ESTUDIO AGROECONÓMICO.**

## 18.7.2.2. Beneficio Asociado el Valor Incremental de la Tierra

El paso desde una situación Sin Proyecto a una Con Proyecto implica un cambio en el uso del suelo, incrementando su valor productivo y por ende comercial. Es así como la incorporación de nuevas zonas a partir de la habilitación de terrenos sin uso y la implementación de cultivos intensivos justifica esta variación.
El Cuadro 17.7.2.2-1 resume la variación del uso del suelos según el tamaño de embalse, cuyo cambio desde la Situación Actual se estabiliza de acuerdo la gradualidad de incorporación prevista en el estudio agroeconómico.

**CUADRO 18.7.2.2-1**
**CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

| Escenario | Volumen Útil ($hm^3$) | Sup. Regada 85% (ha) | Sup. Sin Seguridad (ha) | Total Potencialmente Regable (ha) |
|---|---|---|---|---|
| **SA-SSP** | 0,0 | 5,6 | 250,6 | 256,2 |
| **SCP Sin Mejoramiento** | 3,0 | 135,1 | 121,1 | 256,2 |
| | 6,0 | 195,6 | 60,6 | 256,2 |
| | 9,0 | 224,5 | 31,7 | 256,2 |
| | 12,0 | 241,4 | 14,8 | 256,2 |
| | 15,0 | 256,2 | 0,0 | 256,2 |
| **SCP Con Mejoramiento** | 3,0 | 117,8 | 138,4 | 256,2 |
| | 6,0 | 158,1 | 98,1 | 256,2 |
| | 9,0 | 184,2 | 72,0 | 256,2 |
| | 12,0 | 195,1 | 61,1 | 256,2 |
| | 15,0 | 205,1 | 51,1 | 256,2 |

**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DEL ESTUDIO AGROECONÓMICO.**

Posteriormente se calcula el beneficio asociado al incremento de superficie multiplicando por el valor esperado de venta. Los valores utilizados se desprenden de antecedentes de compra y venta de terrenos cercanos al área de estudio, recopilados en el conservador de Bienes Raíces de Pozo Almonte. De esta forma, se estimó en la evaluación del costo de las expropiaciones un valor promedio por hectárea de $ 2.700.000.- para terrenos sin uso o no habilitados para la agricultura y un valor promedio de $7.500.0000.- para terrenos en producción[41].

## 18.7.2.3. Beneficio Asociado a las Transacciones de los Derechos de Aguas

Para evaluar los beneficios asociados a la disponibilidad de recursos hídricos, se determina el valor del caudal equivalente medio asociado al proyecto, el que se muestra en el Cuadro 17.7.2.3-1. Estos valores se determinaron como el promedio del caudal efluente desde cada uno de los embalses considerados. Se hace notar que el caudal medio disponible se

[41] Estos valores corresponden a los registros del Conservador de Bienes Raíces de Pozo Almonte, existiendo solo un registro adicional, por $1.000.000.-, pero que era una transacción entre familiares, por lo que se consideró poco representativa.

determina a partir del volumen anual disponible de embalsar, por lo que el uso de una u otra variable es equivalente.

**CUADRO 18.7.2.3-1**
**CAUDAL MEDIO ASOCIADO A CADA ALTERNATIVA**

| Escenario | Volumen Útil ($hm^3$) | Caudal Asociado (l/s) |
|---|---|---|
| **SA-SSP** | 0,0 | 170,0 |
| **SCP Sin Mejoramiento** | 3,0 | 394,1 |
| | 6,0 | 542,7 |
| | 9,0 | 553,9 |
| | 12,0 | 648,5 |
| | 15,0 | 683,9 |
| **SCP Con Mejoramiento** | 3,0 | 415,0 |
| | 6,0 | 546,3 |
| | 9,0 | 621,2 |
| | 12,0 | 656,5 |
| | 15,0 | 686,1 |

**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.**

El siguiente elemento a considerar es la evaluación del valor del agua. Con este fin se utilizó la información contenida en el estudio tarifario de la empresa sanitaria Aguas Altiplano S.A. para el periodo 2013-2018 (Anexo 17-1), en cuyo Capítulo 5, referente a la determinación del valor del agua cruda, se presenta un valor promedio de 912.65 UF/L/s a partir de la fuente asociada al acuífero de la Pampa. Con este valor se determinaron los beneficios diferenciales asociados a las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas evitadas debido al proyecto.

## 18.7.3. Beneficio Asociado al Control de Crecidas

Tal como se analizó anteriormente (Capítulo 13 del borrador de informe final), el efecto de realizar un aumento de la capacidad del embalse para su uso exclusivo para el control de crecidas es marginal comparado con los costos asociados, por lo que se ha desestimado evaluar este ítem de la presente evaluación.

En efecto, las obras para control de crecidas generalmente resultan rentables cuando producen efectos positivos ante pequeñas crecidas, porque son más frecuentes. En el caso de la cuenca de la quebrada de Aroma, el valle ya sufrió los efectos devastadores de antiguas crecidas de hasta 100 años de período de retorno, arrastrando casi la totalidad de los suelos agrícolas, los que en términos prácticos son irrecuperables. Por lo tanto, los daños evitados para períodos de retorno inferiores no pasan de ser la pérdida de pequeñas superficies de riego que aún quedan utilizables y de pequeños canales. Las pérdidas mayores, como puentes y caminos, que además son pocos, se producirán para períodos de retorno superiores a 100 años, es decir, de muy baja probabilidad de ocurrencia, por lo que el daño anual evitado es mínimo. Esta es la principal razón por la cual una obra para control de crecidas no se justifica en el valle.

## 18.7.4. Beneficio Asociado a la Generación Hidroeléctrica

Estos corresponden a la venta anual de energía, que es variable año a año, y se determinan a partir de la operación del embalse para riego, es decir, solo se generan las aguas de riego. Los beneficios medios anuales a partir del año en que entra en funcionamiento, se entregan en cuadro 17.7.4-1.

**CUADRO 17.7.4 -1**

**CUADRO DE BENEFICIOS MEDIOS ANUALES POR HIDROGENERACIÓN (mill. $)**

| Alternativa | VU3 | VU6 | VU9 | VU12 | VU15 |
|---|---|---|---|---|---|
| **ALT1** | 33,14 | 34,26 | 35,12 | 35,97 | 35,94 |
| **ALT2** | 30,93 | 32,11 | 33,02 | 33,92 | 33,89 |
| **ALT3** | 29,83 | 31,05 | 31,99 | 32,92 | 32,89 |

Fuente: Elaboración Propia.

No obstante este beneficio, el proyecto de Minicentral resulta inviable con respecto los costos de las obras y transmisión. De hecho, ni siquiera resulta conveniente para alimentar la planta de tratamiento de aguas (explicación detallada en el Capítulo 11 del borrador de informe final). Esta situación ha tenido resultados similares en varias generaciones hidroeléctricas que se ha intentado construir en el norte, en sectores aislados en los cuales el solo costo de la línea de transmisión para llegar a los centros de consumo, hace inviable a la central.

## *18.8. Resultados de la Evaluación Económica*

Los resultados de la evaluación económica del embalse para su uso en regadío, se entregan en los Cuadro 17.8-1 y 17.8-2, para precios privados y sociales, respectivamente. En ambos cuadros, se entregan resultados sin y con mejoramiento de calidad de aguas.

Se observa, en primer lugar, que no hay alternativa alguna que resulte factible, ni siquiera cercanas a la factibilidad. Si se considera el mejoramiento de la calidad de aguas el resultado es aún peor. El mejor sitio, dado por el VAN menos negativo, es el 1, es decir, la alternativa ubicada más al este. Por otra parte, la no rentabilidad de las alternativas llega a tal nivel que incluso la TIR toma valores negativos. El tamaño óptimo entre los evaluados es 3,0 $hm^3$ de volumen útil. No obstante, resulta evidente que, el mejor resultado se logra al no realizar el proyecto. Los resultados específicos para cada alternativa de sitio y tamaño se encuentran en el Anexo 17-2.

**CUADRO 18.8-1**

**RESULTADOS EVALUACIÓN A PRECIOS PRIVADOS**

| Escenario | Alternativa Sitio | V Útil ($hm^3$) | VAN (MM $) | IVAN | VAN/Sup (MM $/ha) | n/k | TIR (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Calidad de Aguas Actual** | **1** | **3,0** | **-25.246,7** | **-1,36** | **-186,9** | **0,013** | **-3,79%** |
| | | 6,0 | -29.888,6 | -1,36 | -152,8 | 0,013 | -3,65% |
| | | 9,0 | -31.800,7 | -1,36 | -141,7 | 0,013 | -3,62% |
| | | 12,0 | -34.153,4 | -1,36 | -141,5 | 0,013 | -3,62% |
| | | 15,0 | -37.774,6 | -1,36 | -147,4 | 0,013 | -3,65% |
| | **2** | 3,0 | -27.439,1 | -1,37 | -203,1 | 0,013 | -3,83% |
| | | 6,0 | -32.497,1 | -1,36 | -166,1 | 0,013 | -3,70% |
| | | 9,0 | -37.022,1 | -1,36 | -164,9 | 0,013 | -3,71% |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 12,0 | -41.307,1 | -1,36 | -171,1 | 0,013 | -3,73% |
| | | 15,0 | -43.171,7 | -1,36 | -168,5 | 0,013 | -3,73% |
| | **3** | 3,0 | -29.405,8 | -1,37 | -217,7 | 0,013 | -3,86% |
| | | 6,0 | -32.958,6 | -1,36 | -168,5 | 0,013 | -3,71% |
| | | 9,0 | -34.788,0 | -1,36 | -155,0 | 0,013 | -3,67% |
| | | 12,0 | -39.024,6 | -1,36 | -161,7 | 0,013 | -3,70% |
| | | 15,0 | -41.672,1 | -1,36 | -162,7 | 0,013 | -3,71% |
| **Calidad de Aguas Mejorada** | **1** | 3,0 | -50.431,0 | -1,36 | -428,1 | 0,010 | -9,93% |
| | | 6,0 | -62.902,9 | -1,35 | -397,9 | 0,010 | -10,26% |
| | | 9,0 | -69.496,1 | -1,35 | -377,3 | 0,010 | -10,41% |
| | | 12,0 | -74.108,5 | -1,35 | -379,8 | 0,010 | -10,33% |
| | | 15,0 | -79.516,0 | -1,35 | -387,7 | 0,010 | -10,13% |
| | **2** | 3,0 | -52.623,0 | -1,36 | -446,7 | 0,010 | -9,63% |
| | | 6,0 | -65.511,4 | -1,36 | -414,4 | 0,010 | -9,95% |
| | | 9,0 | -74.717,6 | -1,35 | -405,6 | 0,010 | -9,87% |
| | | 12,0 | -81.262,2 | -1,35 | -416,5 | 0,010 | -9,66% |
| | | 15,0 | -84.913,2 | -1,35 | -414,0 | 0,010 | -9,67% |
| | **3** | 3,0 | -54.589,8 | -1,36 | -463,4 | 0,010 | -9,39% |
| | | 6,0 | -65.972,9 | -1,36 | -417,3 | 0,010 | -9,90% |
| | | 9,0 | -72.483,4 | -1,35 | -393,5 | 0,010 | -10,08% |
| | | 12,0 | -78.979,7 | -1,35 | -404,8 | 0,010 | -9,85% |
| | | 15,0 | -83.413,5 | -1,35 | -406,7 | 0,010 | -9,78% |

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 18.8-2
## RESULTADOS EVALUACIÓN A PRECIOS SOCIALES

| Escenario | Alternativa Sitio | V Útil ($hm^3$) | VAN (MM $) | IVAN | VAN/Sup (MM $/ha) | n/k | TIR (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calidad de Aguas Actual | 1 | **3,0** | **-24.151,5** | **-1,35** | **-178,8** | **0,065** | **-3,66%** |
| | | 6,0 | -28.411,3 | -1,34 | -145,3 | 0,066 | -3,49% |
| | | 9,0 | -30.330,9 | -1,33 | -135,1 | 0,068 | -3,44% |
| | | 12,0 | -32.708,0 | -1,33 | -135,5 | 0,068 | -3,45% |
| | | 15,0 | -36.220,2 | -1,33 | -141,4 | 0,067 | -3,48% |
| | 2 | 3,0 | -26.218,6 | -1,35 | -194,1 | 0,065 | -3,71% |
| | | 6,0 | -30.960,9 | -1,34 | -158,3 | 0,066 | -3,55% |
| | | 9,0 | -35.313,2 | -1,34 | -157,3 | 0,066 | -3,55% |
| | | 12,0 | -39.528,5 | -1,34 | -163,7 | 0,066 | -3,59% |
| | | 15,0 | -41.373,8 | -1,34 | -161,5 | 0,066 | -3,58% |
| | 3 | 3,0 | -28.021,2 | -1,36 | -207,4 | 0,065 | -3,74% |
| | | 6,0 | -31.372,7 | -1,34 | -160,4 | 0,066 | -3,56% |
| | | 9,0 | -33.072,8 | -1,34 | -147,3 | 0,067 | -3,50% |
| | | 12,0 | -37.281,5 | -1,34 | -154,4 | 0,066 | -3,54% |
| | | 15,0 | -39.873,1 | -1,34 | -155,6 | 0,066 | -3,55% |
| Calidad de Aguas Mejorada | 1 | 3,0 | -57.902,8 | -1,58 | -491,5 | 0,044 | -9,63% |
| | | 6,0 | -72.717,5 | -1,59 | -459,9 | 0,043 | -9,92% |
| | | 9,0 | -80.772,5 | -1,59 | -438,5 | 0,043 | -10,03% |
| | | 12,0 | -86.145,1 | -1,59 | -441,5 | 0,043 | -9,93% |
| | | 15,0 | -92.055,5 | -1,58 | -448,8 | 0,044 | -9,75% |
| | 2 | 3,0 | -59.969,8 | -1,58 | -509,1 | 0,045 | -9,37% |
| | | 6,0 | -75.267,0 | -1,58 | -476,1 | 0,044 | -9,64% |
| | | 9,0 | -85.754,9 | -1,58 | -465,6 | 0,044 | -9,54% |
| | | 12,0 | -92.965,6 | -1,57 | -476,5 | 0,045 | -9,34% |
| | | 15,0 | -97.209,1 | -1,57 | -474,0 | 0,045 | -9,33% |
| | 3 | 3,0 | -61.772,3 | -1,57 | -524,4 | 0,045 | -9,16% |
| | | 6,0 | -75.678,9 | -1,58 | -478,7 | 0,044 | -9,60% |
| | | 9,0 | -83.514,4 | -1,58 | -453,4 | 0,044 | -9,74% |
| | | 12,0 | -90.718,5 | -1,58 | -465,0 | 0,044 | -9,52% |
| | | 15,0 | -95.708,4 | -1,57 | -466,6 | 0,045 | -9,44% |

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte se incluyen los Cuadros 17.8-3 y 17.8-4 con los resultados de la evaluación por métodos alternativos. En ambos casos los beneficios están muy por debajo del costo de las obras los que superan hasta en 80 veces el valor incremental generado.

La alternativa del sitio 1 con volumen útil de 12 $hm^3$ y 15 $hm^3$ sin considerar obras de tratamiento de la calidad de aguas son la que obtiene el mejor resultado con el método del valor incremental de la tierra y de las transacciones de derechos de aguas, respectivamente, pero tal como se dijo anteriormente, lejos de transformarse en un proyecto viable bajo esta perspectiva.

## CUADRO 18.8-3
## RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA
## MÉTODO DEL VALOR INCREMENTAL DE LA TIERRA (MILL $)

| Escenario | Alternativa Sitio | Volumen Útil (hm3) | Valor Total Tierra (Mill $) | Valor Incremental (Mill $) | Costo Total (Mill $) | Beneficio Neto (Mill $) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SA-SSP | | 0,0 | 718,6 | - | - | - |
| SCP Sin Mejoramiento | 1 | 3,0 | 1.340,2 | 621,6 | 18.145,3 | -17.523,7 |
| | | 6,0 | 1.630,6 | 912,0 | 21.546,0 | -20.634,0 |
| | | 9,0 | 1.769,3 | 1.050,7 | 22.946,7 | -21.896,0 |
| | | 12,0 | 1.850,5 | 1.131,8 | 24.634,8 | -23.502,9 |
| | | 15,0 | 1.921,5 | 1.202,9 | 27.218,4 | -26.015,5 |
| | 2 | 3,0 | 1.340,2 | 621,6 | 18.965,9 | -18.344,3 |
| | | 6,0 | 1.630,6 | 912,0 | 22.589,3 | -21.677,3 |
| | | 9,0 | 1.769,3 | 1.050,7 | 25.750,0 | -24.699,2 |
| | | 12,0 | 1.850,5 | 1.131,8 | 28.763,6 | -27.631,7 |
| | | 15,0 | 1.921,5 | 1.202,9 | 30.114,7 | -28.911,8 |
| | 3 | 3,0 | 1.340,2 | 621,6 | 20.220,8 | -19.599,2 |
| | | 6,0 | 1.630,6 | 912,0 | 22.874,6 | -21.962,6 |
| | | 9,0 | 1.769,3 | 1.050,7 | 24.180,8 | -23.130,1 |
| | | 12,0 | 1.850,5 | 1.131,8 | 27.190,0 | -26.058,2 |
| | | 15,0 | 1.921,5 | 1.202,9 | 29.063,4 | -27.860,5 |
| SCP Con Mejoramiento | 1 | 3,0 | 1.257,2 | 538,6 | 42.936,7 | -42.398,1 |
| | | 6,0 | 1.450,6 | 732,0 | 54.140,7 | -53.408,7 |
| | | 9,0 | 1.575,9 | 857,3 | 60.338,6 | -59.481,3 |
| | | 12,0 | 1.628,2 | 909,6 | 64.315,1 | -63.405,5 |
| | | 15,0 | 1.676,2 | 957,6 | 68.659,2 | -67.701,6 |
| | 2 | 3,0 | 1.257,2 | 538,6 | 44.364,7 | -43.826,2 |
| | | 6,0 | 1.450,6 | 732,0 | 55.900,0 | -55.168,0 |
| | | 9,0 | 1.575,9 | 857,3 | 63.789,8 | -62.932,5 |
| | | 12,0 | 1.628,2 | 909,6 | 69.053,3 | -68.143,7 |
| | | 15,0 | 1.676,2 | 957,6 | 72.229,9 | -71.272,3 |
| | 3 | 3,0 | 1.257,2 | 538,6 | 45.619,6 | -45.081,1 |
| | | 6,0 | 1.450,6 | 732,0 | 56.185,4 | -55.453,4 |
| | | 9,0 | 1.575,9 | 857,3 | 62.220,6 | -61.363,4 |
| | | 12,0 | 1.628,2 | 909,6 | 67.479,8 | -66.570,2 |
| | | 15,0 | 1.676,2 | 957,6 | 71.178,7 | -70.221,1 |

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 18.8-4**
**RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA**
**MÉTODO DE LAS TRANSACCIONES DE DERECHOS DE AGUAS (MILL $)**

| Escenario | Alternativa Sitio | Volumen Útil (hm3) | Valor Total Agua (mill $) | Valor Incremental (Mill $) | Costo Total (Mill $) | Beneficio Neto (Mill $) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SA-SSP | | 0,0 | 3.543,0 | - | - | - |
| SCP Sin Mejoramiento | 1 | 3,0 | 8.215,3 | 4.672,3 | 18.145,3 | -13.473,0 |
| | | 6,0 | 11.312,7 | 7.769,7 | 21.546,0 | -13.776,3 |
| | | 9,0 | 11.547,0 | 8.004,0 | 22.946,7 | -14.942,7 |
| | | 12,0 | 13.518,6 | 9.975,6 | 24.634,8 | -14.659,2 |
| | | 15,0 | 14.255,1 | 10.712,1 | 27.218,4 | -16.506,3 |
| | 2 | 3,0 | 8.215,3 | 4.672,3 | 18.965,9 | -14.293,6 |
| | | 6,0 | 11.312,7 | 7.769,7 | 22.589,3 | -14.819,6 |
| | | 9,0 | 11.547,0 | 8.004,0 | 25.750,0 | -17.745,9 |
| | | 12,0 | 13.518,6 | 9.975,6 | 28.763,6 | -18.787,9 |
| | | 15,0 | 14.255,1 | 10.712,1 | 30.114,7 | -19.402,6 |
| | 3 | 3,0 | 8.215,3 | 4.672,3 | 20.220,8 | -15.548,5 |
| | | 6,0 | 11.312,7 | 7.769,7 | 22.874,6 | -15.104,9 |
| | | 9,0 | 11.547,0 | 8.004,0 | 24.180,8 | -16.176,8 |
| | | 12,0 | 13.518,6 | 9.975,6 | 27.190,0 | -17.214,4 |
| | | 15,0 | 14.255,1 | 10.712,1 | 29.063,4 | -18.351,3 |
| SCP Con Mejoramiento | 1 | 3,0 | 8.215,3 | 4.672,3 | 42.936,7 | -38.264,4 |
| | | 6,0 | 11.312,7 | 7.769,7 | 54.140,7 | -46.371,1 |
| | | 9,0 | 11.547,0 | 8.004,0 | 60.338,6 | -52.334,5 |
| | | 12,0 | 13.518,6 | 9.975,6 | 64.315,1 | -54.339,4 |
| | | 15,0 | 14.255,1 | 10.712,1 | 68.659,2 | -57.947,1 |
| | 2 | 3,0 | 8.215,3 | 4.672,3 | 44.364,7 | -39.692,4 |
| | | 6,0 | 11.312,7 | 7.769,7 | 55.900,0 | -48.130,4 |
| | | 9,0 | 11.547,0 | 8.004,0 | 63.789,8 | -55.785,8 |
| | | 12,0 | 13.518,6 | 9.975,6 | 69.053,3 | -59.077,7 |
| | | 15,0 | 14.255,1 | 10.712,1 | 72.229,9 | -61.517,8 |
| | 3 | 3,0 | 8.215,3 | 4.672,3 | 45.619,6 | -40.947,3 |
| | | 6,0 | 11.312,7 | 7.769,7 | 56.185,4 | -48.415,7 |
| | | 9,0 | 11.547,0 | 8.004,0 | 62.220,6 | -54.216,6 |
| | | 12,0 | 13.518,6 | 9.975,6 | 67.479,8 | -57.504,2 |
| | | 15,0 | 14.255,1 | 10.712,1 | 71.178,7 | -60.466,6 |

Fuente: Elaboración propia.

## *18.9. Análisis de Sensibilidad*

Al hacer cualquier evaluación económica, siempre hay un elemento de incertidumbre asociado a las variables y alternativas que se estudian, lo que dificulta una toma de decisiones con mayor certeza. Una forma de disminuir o dimensionar esta incertidumbre es a través un análisis de sensibilidad, que busca identificar las variables que más afectan el resultado económico de un proyecto y la magnitud de su incidencia. Para este proyecto en particular, el análisis se realiza para la sitio 1 de 3 $hm^3$ de volumen útil.

Como primer paso, el Cuadro 17.9-1 muestra el cambio que experimenta el VAN, a precios sociales, ante la variación del 10% de las partidas involucradas en la evaluación económica, a fin de conocer las que repercuten más en la rentabilidad del proyecto. De este cuadro se puede observar que la variable que más incide en la rentabilidad es el costo de las obras,

cuya elasticidad con respecto al VAN social es igual a -0,88. La segunda variable con mayor importancia es el ingreso agrícola, seguida muy de cerca por el costo de las obras de conducción. Las restantes variables tienen un efecto marginal, lo que refleja la alta dependencia del proyecto por los costos de las obras civiles, en contraste con los bajos beneficios obtenidos en el ámbito agrícola.

**CUADRO 17.9-1**
**ANÁLISIS DE INCIDENCIA DE LAS VARIABLES**
**EN LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO**
**ESCENARIO SIN MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS**
**SITIO 1 DE 3 HM$^3$**

| Item Evaluación | | Variación | VAN0 (MM $) | VAN1 (MM $) | ΔVAN (MM $) | Elasticidad |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ingresos Agrícolas | | 10,00% | -24.152 | -23.841 | 310 | 0,13 |
| Inversión | Embalse | 10,00% | -24.152 | -26.285 | -2.134 | -0,88 |
| | Conducción | 10,00% | -24.152 | -24.402 | -251 | -0,10 |
| Costos Operación | Embalse | 10,00% | -24.152 | -24.343 | -192 | -0,08 |
| | Conducción | 10,00% | -24.152 | -24.173 | -22 | -0,01 |
| Costos Ambientales | | 10,00% | -24.152 | -24.264 | -112 | -0,05 |

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados se analizó la variación del VAN social y la TIR ante un cambio de 10% superior e inferior de los ingresos agrícolas y el costo de inversión, operación y ambientales, además del cambio necesario en cada una para que el VAN sea igual a cero, es decir la variación límite para que el proyecto sea rentable (Cuadro 17.9-2).

**CUADRO 17.9-2**
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**
**INGRESO AGRÍCOLA Y COSTOS DEL EMBALSE**
**ESCENARIO SIN MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS**
**SITIO 1 DE 3 HM$^3$**

| Item Evaluación | Variación (%) | | | | Variación para VAN=0 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10% | | -10% | | |
| | VAN Social (MM $) | TIR (%) | VAN Social (MM $) | TIR (%) | |
| Ingresos Agrícolas | -23.839 | -3,48% | -24.464 | -3,85% | 772,92% |
| Costos del Proyecto | -26.883 | -3,83% | -21.463 | -3,48% | -96,45% |

Fuente: Elaboración propia.

En concordancia con lo anterior, para que el proyecto sea rentable tendría que provocarse una disminución conjunta de un 96,45% del costo de las obras, operación y ambientales para que el proyecto será rentable. Por otra parte los Ingresos agroeconómicos deberían incrementarse en casi 9 veces (772,92%) para lograr un VAN social positivo.

Un análisis de sensibilidad adicional consiste en modificar la gradualidad de los cambios en la Situación Con Proyecto, los que se desprenden de la incorporación de los cultivos que conforman el nuevo uso del suelo.

Dada lo anterior se confeccionó un escenario denominado “temprano” en donde la incorporación de los cultivos fuera más rápida que la estimada inicialmente, y otro “tardío” en el cual los cambios se producen en forma más lenta. El Cuadro 17.9-3 muestra las tasas de incorporación utilizadas en cada caso.

Estas tasas tienen repercusión en la gradualidad de la incorporación de la superficie, costos indirectos, habilitación de suelos, inversión en riego tecnificado, asistencia técnica y la estabilización de los márgenes brutos.

Teniendo los flujos agroeconómicos resultantes de estas tasas, se presenta en el Cuadro 17.9-4 el análisis de sensibilidad respectivo, el que muestra que si la gradualidad de los cambios es distinta a la inicialmente propuesta los resultados son más negativos, en el caso del escenario temprano debido a los altos costos de habilitación de los terrenos y en el escenario tardío a causa de los menores ingresos en los primeros años. Además, estos resultados confirman que la causa de los malos resultados económicos es el elevado costo de las obras y no la magnitud de los beneficios agrícolas, ya que una variación de estos últimos modifican en un grado ínfimo el VAN y TIR social.

**CUADRO 17.9-3**
**TASAS DE INCORPORACIÓN CULTIVOS ESCENARIOS DE INCORPORACIÓN AGRÍCOLA**

| Sector 1 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Año | Existentes E1 y E2 | | | Año | Existentes E3 y E4 | | | Año | Alfalfa | | |
| | Base | Temprano | Tardío | | Base | Temprano | Tardío | | Base | Temprano | Tardío |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 10 | 10 | 5 | 1 | 10 | 10 | 10 | 1 | 10 | 10 | 10 |
| 2 | 25 | 30 | 15 | 2 | 30 | 50 | 25 | 2 | 30 | 50 | 25 |
| 3 | 50 | 60 | 25 | 3 | 60 | 75 | 50 | 3 | 60 | 75 | 50 |
| 4 | 70 | 90 | 50 | 4 | 90 | 100 | 70 | 4 | 90 | 100 | 70 |
| 5 | 90 | 100 | 75 | 5 | 100 | 100 | 90 | 5 | 100 | 100 | 90 |
| 6 | 100 | 100 | 90 | 6 | 100 | 100 | 100 | 6 | 100 | 100 | 100 |
| 7 | 100 | 100 | 100 | 7 | 100 | 100 | 100 | 7 | 100 | 100 | 100 |
| 8 | 100 | 100 | 100 | 8 | 100 | 100 | 100 | 8 | 100 | 100 | 100 |
| 9 | 100 | 100 | 100 | 9 | 100 | 100 | 100 | 9 | 100 | 100 | 100 |
| 10 | 100 | 100 | 100 | 10 | 100 | 100 | 100 | 10 | 100 | 100 | 100 |
| Sector 2 | | | | | | | | | | |
| Año | Existentes E1 y E2 | | | Año | Existentes E3 y E4 | | | Año | Alfalfa | | |
| | Base | Temprano | Tardío | | Base | Temprano | Tardío | | Base | Temprano | Tardío |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 5 | 10 | 5 | 1 | 5 | 10 | 5 | 1 | 10 | 10 | 5 |
| 2 | 15 | 25 | 10 | 2 | 15 | 25 | 10 | 2 | 25 | 30 | 15 |
| 3 | 25 | 50 | 15 | 3 | 25 | 50 | 15 | 3 | 50 | 60 | 25 |
| 4 | 50 | 70 | 25 | 4 | 50 | 70 | 25 | 4 | 70 | 90 | 50 |
| 5 | 70 | 80 | 50 | 5 | 70 | 80 | 50 | 5 | 90 | 100 | 75 |
| 6 | 80 | 90 | 70 | 6 | 80 | 90 | 70 | 6 | 100 | 100 | 90 |
| 7 | 90 | 100 | 75 | 7 | 90 | 100 | 75 | 7 | 100 | 100 | 100 |
| 8 | 100 | 100 | 90 | 8 | 100 | 100 | 90 | 8 | 100 | 100 | 100 |
| 9 | 100 | 100 | 100 | 9 | 100 | 100 | 100 | 9 | 100 | 100 | 100 |
| 10 | 100 | 100 | 100 | 10 | 100 | 100 | 100 | 10 | 100 | 100 | 100 |

**Fuente:** Elaboración propia.

**CUADRO 17.9-4**
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**
**INCORPORACIÓN DE AGRICOLA**
**ESCENARIO SIN MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS**
**SITIO 1 DE 3 HM³**

| Escenario | VAN Social (MM $) | TIR (%) |
|---|---|---|
| Temprano | -24.082,66 | -3,64% |
| Tardío | -24.220,08 | -3,68% |

**Fuente:** Elaboración propia

Además, se ha evaluado el cambio del VAN social ante una variación en el periodo de ejecución de las obras, resultados que se muestran en el Cuadro 17.9-5. En este caso destaca

que a medida que el proyecto demora más en ejecutarse el VAN social aumenta, pero con un efecto residual en la rentabilidad negativa del proyecto.

**CUADRO 17.9-5**
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**
**PERIODO DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS**
**ESCENARIO SIN MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS**
**SITIO 1 DE 3 HM³**

| Escenario | VAN Social (MM $) | TIR (%) |
|---|---|---|
| **Construcción + 1 año** | -23.078,96 | -3,75% |
| **Construcción + 2 años** | -22.228,39 | -3,83% |

**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente, se presenta el Cuadro 17.9-6 con la incidencia conjunta de las distintas variables analizadas anteriormente. Se observa que, incluso con variaciones conjuntas muy significativas, el proyecto sigue siendo no rentable.

**CUADRO 17.9-6**
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CONJUNTO**
**ESCENARIO SIN MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS**
**SITIO 1 DE 3 HM³**

| Item Evaluación | Sitio 1 3 hm3 | |
|---|---|---|
| | VAN Social (MM $) | TIR (%) |
| **(Ingresos + 50%) + (Costos - 50%)** | -9.574 | -0,93% |
| **(Ingresos + 70%) + (Costos - 50%)** | -8.949 | -0,35% |
| **(Ingresos + 100%) + (Costos - 50%)** | -8.011 | 0,49% |
| **(Ingresos + 50%) + (Costos - 80%)** | -2.276 | 2,44% |
| **(Ingresos + 70%) + (Costos - 80%)** | -1.651 | 3,51% |
| **(Ingresos + 100%) + (Costos - 80%)** | -713 | 4,98% |

**Fuente:** Elaboración propia.

Un análisis complementario se puede realizar con el análisis de riesgo que se presenta a continuación.

## *18.10. análisis de riesgo*

### 18.10.1. Introducción

El análisis de riesgo es una herramienta cuyo fin es determinar el grado de confianza estadística en la solución obtenida es el llamado análisis de riego. Este tipo de análisis se puede pensar como un análisis de sensibilidad generalizado, en el que no se analiza un cambio único en una variable, sino que se analizan muchas posibilidades dentro del rango posible.

En particular en este análisis se considera el cambio en costo de las obras, variable que según el análisis de sensibilidad mostrado en el Acápite 17.9 es la que presenta la mayor elasticidad. Adicionalmente se analiza el ingreso agrícola, en términos del precio de los

productos comerciados, que aunque presenta una menor elasticidad, es la fuente de beneficios del proyecto.

### 18.10.2. Condiciones de Análisis

El análisis de riesgo se realizó para el caso del embalse del sitio 1 con 3 $hm^3$ de volumen útil, el que resultó con los mejores indicadores económicos, considerando las variables costo e ingreso agrícola (precio de venta de los productos). La modelación se realizó transformando estas variables de determinísticas, es decir, con un valor dado, a variables con un valor cambiante, llamadas estocásticas. El cambio se realizó con la siguiente representación:

$X_E = \alpha * X_D$

Donde:

$X_E$: Valor estocástico de la variable

$X_D$: Valor determinístico de la variable

$\alpha$: Función de transformación

Adicionalmente se requiere que en condiciones estáticas el modelo estocástico sea igual al determinístico. Esto se logra imponiendo que el valor esperado de la variable estocástica sea igual al valor determinístico:

$E(X_E) = E(X_D) = X_D$

Esto se logra imponiendo la condición:

$E(X_\alpha) = 1$

Con el objetivo de desarrollar la modelación, se escogió usar una función α de tipo triangular, como la mostrada en la Figura 17.10.2-1, la que resulta muy conveniente por su operatoria sencilla, especialmente en casos en donde la cantidad de datos muestrales es muy limitada, tal como es en el presente estudio. Esta función entrega valores que varían entre un mínimo y un máximo, presentándose las mayores probabilidades de ocurrencia para el valor más probable (o vmp). Esto significa que siempre hay menos valores cercanos al mínimo o al máximo que al vmp.

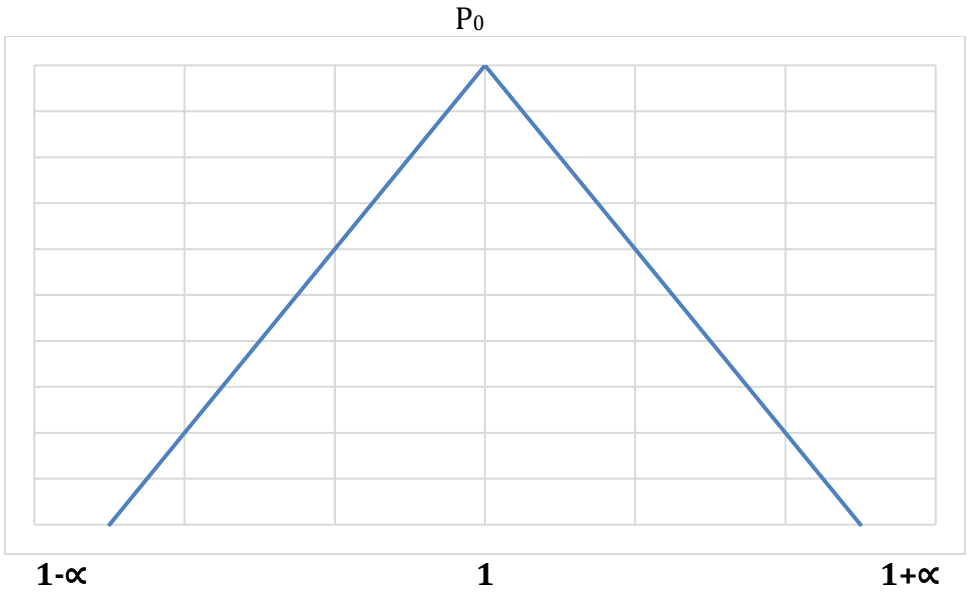
En particular, para esta simulación se adoptó una distribución simétrica, en el rango [1-α,1+α], con un vmp igual a $P_0$, tal como se muestra en la Figura 17.10.2-2. La forma simétrica de la distribución permite analizar aumentos y disminuciones de costo en la misma proporción.

**FIGURA 17.10.2-1**
**DISTRIBUCIÓN ALEATORIA TRIANGULAR TÍPICA**




Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 17.10.2-2**
**DISTRIBUCIÓN ALEATORIA TRIANGULAR ESCOGIDA**




Fuente: Elaboración propia.

La siguiente ecuación muestra en forma analítica la distribución de probabilidad considerada, en que $P_0$ es desconocido:

$$f_x(x) = \begin{cases} 0 & x < 1-\propto \\ \frac{P_o}{1-\propto}\,(1-\propto -x) & 1-\propto < x < 0 \\ \frac{P_o}{1+\propto}\,(1+\propto -x) & 0 < x < 1+\propto \\ 0 & 1+\propto < x \end{cases}$$

Por otra parte, la función probabilidad se define como:

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^{x} f_x\,(x)\,dx$$

Para determinar el valor de $P_0$, se tiene que cumplir la condición:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_x\,(x)\,dx\; = 1$$

De donde:

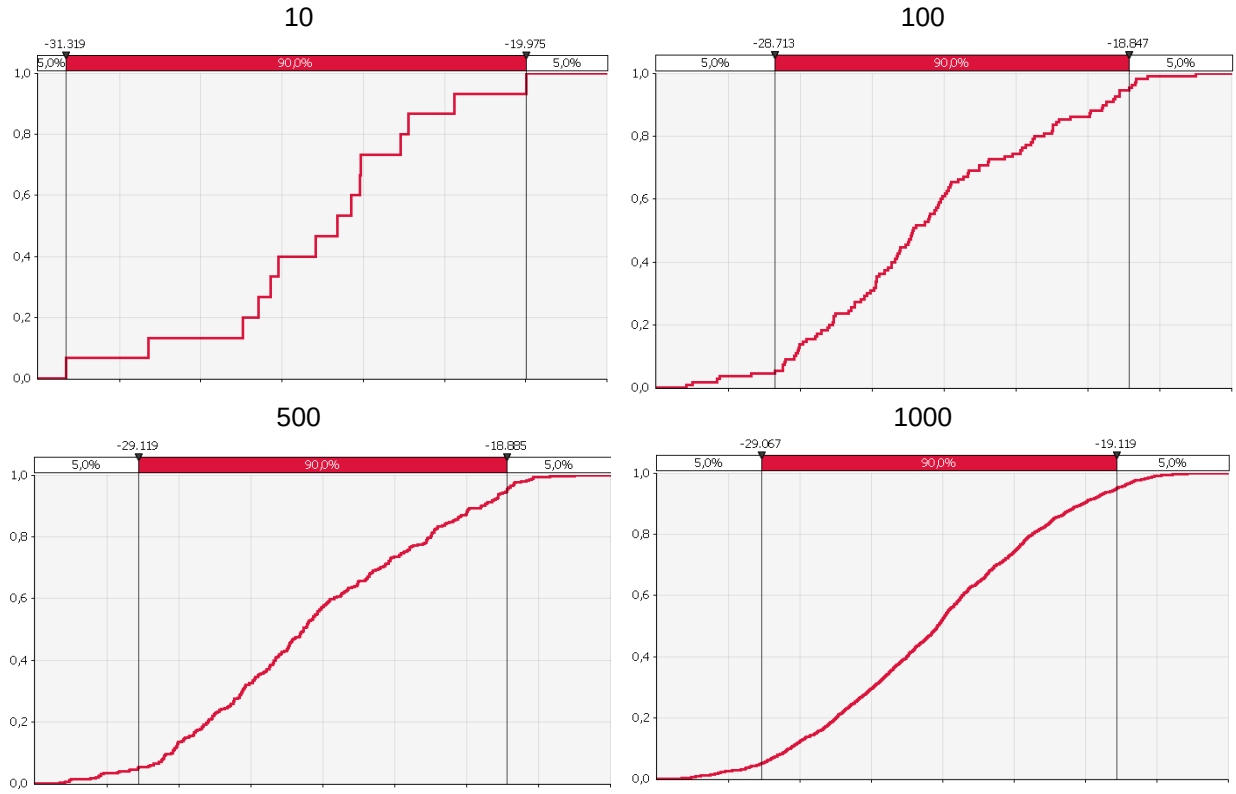
$$P_o = \frac{1}{2\propto}$$

### 18.10.3. Resultados

La modelación se realizó usando el software @RISK, considerando 2 valores del parámetro α: 30% y 50 %.

En primer lugar se muestra a modo de ejemplo en la Figura 17.10.3-1 la evolución de la distribución del VAN para distintos números de realizaciones de las variables de entrada. En la primera imagen, a las 10 iteraciones, se observa una función claramente discreta, comportamiento que continua apreciándose para 100 y 500 realizaciones. Para 1000 realizaciones, se observa una función muy continua. En forma adicional, se muestra en la Figura 17.10.3-2 el histograma o gráfico de frecuencias observadas. En las primeras imágenes se observa una distribución claramente aleatoria, para luego hacerse más uniforme, hasta observarse un histograma muy uniforme, concordante con la distribución de probabilidad mostrada en la Figura 17.10.3-1.

**FIGURA 17.10.3-1**
**VARIACIÓN DISTRIBUCIÓN ACUMULADA DE PROBABILIDAD**

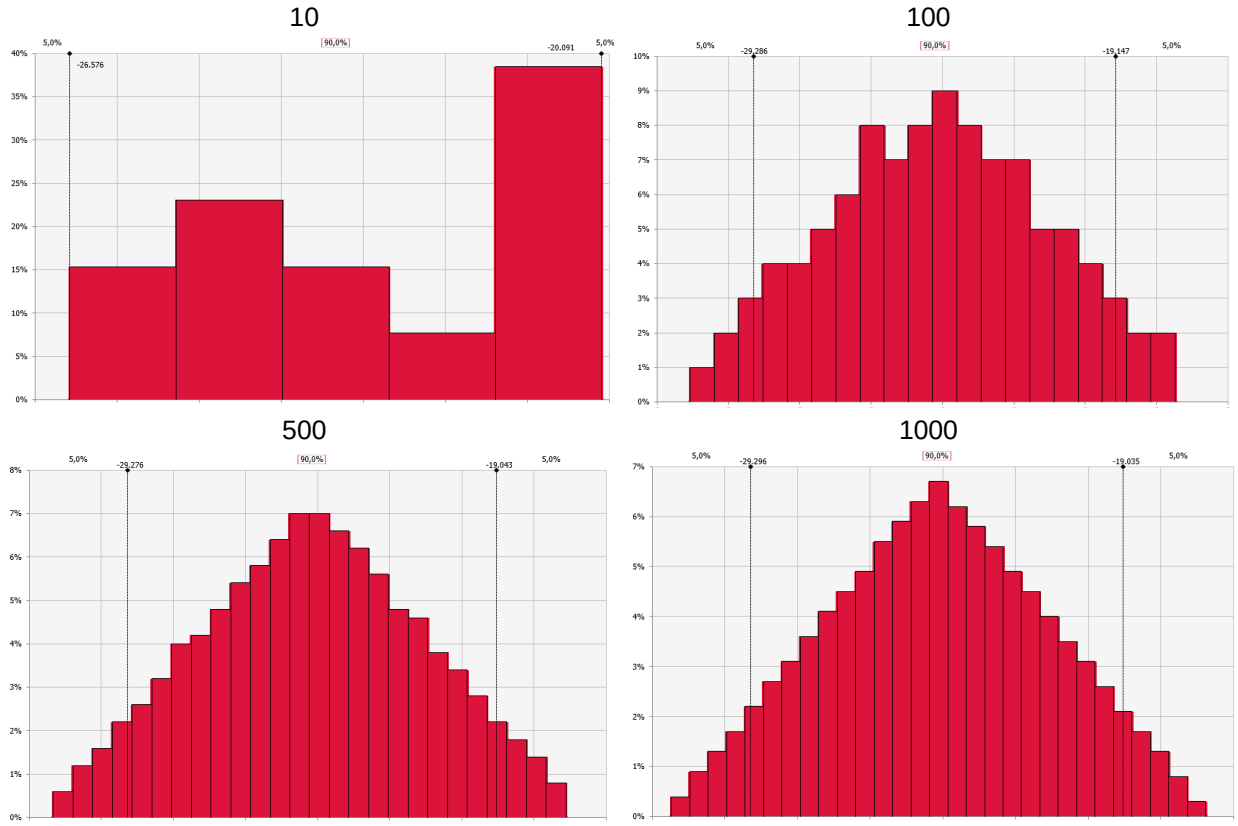



Fuente: Elaboración propia.

El análisis continúa con los resultados para los diferentes casos analizados: variación del costo con α igual a 30% y 50 %. Las mismas variaciones se consideran para el ingreso. Se hace notar en todo caso, que para el ingreso las variaciones se aplicaron a los precios de venta de los productos. Se hace notar que el análisis se realiza para las variables en forma independiente y luego en forma conjunta. En el Cuadro 17.10.3-1 se resumen los resultados: VAN Mínimo y máximo, Percentiles 5 % y 90 %, y variación entre los percentiles indicados. Los resultados muestran en primer lugar que para las combinaciones consideradas, el VAN es siempre negativo. En segundo lugar, se observa que la variación del VAN es mayor cuando se utiliza un valor α de 30% que de 50%. Por otra parte, los resultados del análisis son consistentes con el análisis de sensibilidad, ya que se observan mayores variaciones en el VAN para la variable costo que para la variable ingreso. Por último, la combinación de ambas variables modifica los resultados levemente. A modo de ejemplo, se muestra en la Figura 17.10.3-3 la distribución del VAN para el caso en que el valor de α es 50 % para ambas variables.

El análisis de riego muestra claramente, que este proyecto no tiene posibilidades de ser rentable, dada su baja incidencia en la producción, y por consiguiente su bajo retorno monetario.

**FIGURA 17.10.3-2**
**VARIACIÓN HISTOGRAMA DE FRECUENCA**



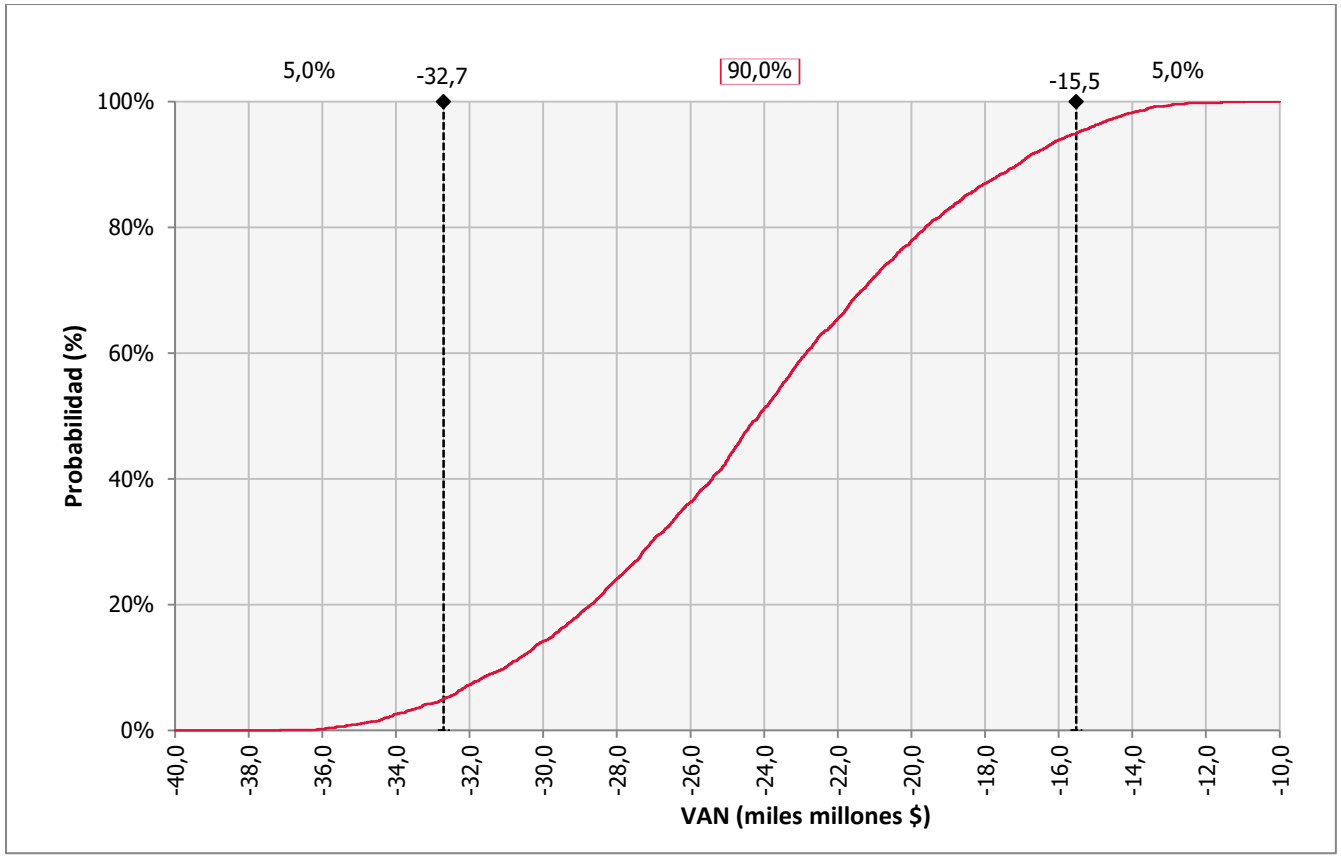

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 17.10.3-1
## RESULTADOS ANÁLISIS DE RIESGO

| α | | VAN (miles millones $) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Costo Obras** | **Precio Venta** | **Mínimo** | **5 %** | **95 %** | **Máximo** | **ΔVAN (5%-95%)** |
| 30% | - | -32,0 | -29,3 | -19,0 | -16,0 | 10,3 |
| 50% | - | -40,0 | -32,7 | -15,6 | -10,0 | 17,1 |
| - | 30% | -25,5 | -24,8 | -23,5 | -23,0 | 1,3 |
| - | 50% | -26.0 | -25,1 | -23,1 | -22,0 | 2,0 |
| 30% | 30% | -32,0 | -29,3 | -19,0 | -16,0 | 10,3 |
| 50% | 50% | -40,0 | -32,7 | -15,2 | -10,0 | 17,5 |

Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 17.10.3-3**
**RESULTADOS ANÁLISIS DE RIEGO VOLUMEN ÚTIL 3 hm$^3$**




Fuente: Elaboración propia.

## *18.11. Indicadores Adicionales*

### 18.11.1. Introducción

En esta sección se presentan resultados que no son contemplados o percibidos en forma explícita en la evaluación económica, pero que dependen de ésta. En específico, se analiza la generación de empleo agrícola, la rentabilidad predial, el ingreso agropecuario per cápita[42] y los impuestos captados por el Estado.

Como conclusión general cabe mencionar que el sitio 1 de 3 hm$^3$ de volumen útil en el escenario sin mejoramiento de calidad de aguas es el que entrega mejores resultados con respecto al resto de las alternativas de obras. Por ello se presentan los resultados para solo para este sitio.

[42] Por sobre el ingreso por remuneraciones

## 18.11.2. Generación de Empleo

En el Cuadro 17.11.2-1 es posible observar el balance de la generación de empleo agrícola permanente y temporal entre la Situación Actual y la Situación Con Proyecto, en el cual destaca el crecimiento anual de 8,9% del empleo temporal femenino. A esto se suma el aumento de las jornadas temporales masculinas en un 13,2% al año.

**CUADRO 18.11.2-1**
**GENERACIÓN DE EMPLEO AGRICOLA TOTAL AREA**
**ESCENARIO SIN MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS**
**SITIO 1 DE 3 HM³**

| Tipo Jornada | SA | SCP | Variación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Nº | % Total | % Anual |
| **Jornadas Anuales Totales** | | | | | |
| Masculinas | 896 | 4.754 | 3.858 | 430,8% | 11,0% |
| Femeninas | 153 | 1.115 | 963 | 631,4% | 13,2% |
| **Jornadas Anuales Permanentes** | | | | | |
| Masculinas | 43 | 1.426 | 1.383 | 3231,2% | 24,5% |
| Femeninas | 0 | 0 | 0 | - | - |
| **Empleos Mensuales Permanentes** | | | | | |
| Masculinos | 1 | 5 | 4 | 400,0% | 10,6% |
| Femeninas | 0 | 0 | 0 | - | - |
| **Jornadas Anuales Temporales** | | | | | |
| Masculinas | 853 | 3.328 | 2.475 | 290,2% | 8,9% |
| Femeninas | 153 | 1.115 | 963 | 631,4% | 13,2% |

Fuente: Elaboración propia

Como se hace mención anteriormente, la demanda de mano de obra producto del desarrollo de agricultura de riego en las dimensiones propuestas requiere de un análisis pertinente de abordar en un estudio posterior de factibilidad producto que la demanda de mano de obra supera largamente a la oferta de este recurso en la zona.

## 18.11.3. Rentabilidad por Hectárea Productiva

La rentabilidad por hectárea productiva consiste en el cuociente entre el beneficio ocasionado por el proyecto y el número de hectáreas beneficiadas.

La rentabilidad para cada una de las situaciones se presenta en el Cuadro 17.11.3-1. En Situación Con Proyecto se produce un incremento de 16,8% en relación a la rentabilidad de la situación Sin Proyecto.

**CUADRO 18.11.3-1**
**RENTABILIDAD POR HECTÁREA PRODUCTIVA**
**ESCENARIO SIN MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS**
**SITIO 1 DE 3 HM$^3$**

| Situación | A - Rentabilidad Promedio Área de Estudio ($) | B -Superficie Física Cultivada Riego (ha) | C- Rentabilidad por Hectárea ($) (A/B) | D - Incrementos (%) |
|---|---|---|---|---|
| Sin Proyecto | 11.277.257 | 20,0 | 563.863 | - |
| Con Proyecto | 88.949.247 | 135,1 | 658.396 | 16,8 |

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

## 18.11.4. Ingreso Per Cápita Asignable al Sector Agropecuario

El ingreso per cápita asignable al sector agropecuario consiste en el cuociente entre el beneficio ocasionado por el proyecto y el número de agricultores beneficiados con el mismo. El ingreso per cápita de la Situación Con Proyecto se incrementa en 385,5% en relación a la Situación Sin Proyecto, lo que coincide con las mayores utilidades por encima de las remuneraciones de la labor agrícola. Esta información se presenta en el Cuadro 2.11.4-1.

**CUADRO 18.11.4-1**
**INGRESO PER CÁPITA**
**ESCENARIO SIN MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS**
**SITIO 1 DE 3 HM$^3$**

| Situación | A - Rentabilidad Promedio Área de Estudio ($) | B- Número de Agricultores | C - Ingreso Per Cápita ($) (A/B) | D - Ingreso Per Cápita mensual ($) (C/12) | E - Incrementos (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Sin Proyecto | 11.277.257 | 9 | 1.253.029 | 104.419 | - |
| Con Proyecto | 88.949.247 | 15 | 6.084.033 | 507.003 | 385,5 |

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

## 18.11.5. Generación de Impuestos

La generación de impuestos corresponde al impuesto generado por el incremento de la utilidad producto de la entrada en funcionamiento del embalse.
Al respecto la generación de impuestos producto de la construcción de obras se incrementa en un 705,6% al pasar de $2,45 millones en la Situación Actual a más de $19,86 millones en Situación Con Proyecto (ver Cuadro 17.11.5-1).

**CUADRO 18.11.5-1**
**GENERACIÓN IMPUESTOS**
**ESCENARIO SIN MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS**
**SITIO 1 DE 3 HM$^3$**

| Situación | A - Utilidad Promedio Área de Estudio | B - Impuestos ($) (A*0,2) | C - Incrementos (%) |
|---|---|---|---|
| Sin Proyecto | 12.327.902 | 2.465.580 | - |
| Con Proyecto | 99.311.760 | 19.862.352 | 705,6 |

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

## *18.12. Externalidades*

Además de los efectos antes descritos se pueden mencionar otros, que debido a sus características propias o por lo complejidad no han podido ser considerados dentro de la evaluación económica:

- **Medio construido:** No se detectan efectos significativos en los asentamientos humanos, ya que el proyecto se ubica en una zona despoblada del valle.

- **Medio Ambiente y Paisaje:** Los efectos en el medio ambiente deben ser minimizados y monitoreados en concordancia con lo indicado posteriormente en el Análisis Ambiental.

- **Futuro de la Agricultura:** La conformación de un área de expansión agrícola en un nuevo sector aledaño al pueblo de Huara tiene algunas implicancias no relacionadas directamente con el proyecto. En primer lugar permite a los agricultores diversificar sus canales de comercialización, haciendo mucho más fácil la venta directa en el predio, incluso instalando puestos a la orilla de la ruta R-15, que conecta Huara con Colchane y Bolivia. En relación con lo anterior, el hecho de estar instalados a la orilla de la ruta R-15 favorece el intercambio con comerciantes provenientes de Bolivia, además de un tránsito más expedito de mano de obra. Por otra parte, incluso existe la posibilidad de consolidar está nueva área agrícola como un nuevo polo de agricultura característica del norte grande y ofrecer productos tradicionales con un valor agregado por ser una marca autóctona de la zona.

## *18.13. Momento Óptimo de la Inversión*

El momento óptimo de inversión se obtiene al comparar el VAN de invertir en el momento n versus hacerlo en el momento n+1. La premisa fundamental para que este cálculo sea posible de realizar es que los beneficios netos anuales posibles sean independientes del momento de inicio del proyecto, es decir que su evolución y gradualidad de incorporación no dependan de la construcción del embalse, sino de la evolución de la demanda o una variación en el mercado los insumos. Un ejemplo claro de lo anterior sucede en los proyectos de agua potable o alcantarillado, en los cuales, dependiendo del año de entrada en vigencia de la obra, podrá abastecer una demanda que depende del aumento poblacional. En el proyecto de embalse en estudio los beneficios agrícolas dependen en forma radical de la construcción de la obra, por lo que no resulta pertinente este cálculo. En este caso el momento de realización

de la obra dependerá de la comparación del proyecto con otros dentro de la cartera del inversionista, en este caso el Estado[43].

## *18.14. Análisis Financiero y Disposición de PAgo*

El presente capítulo, se refiere al análisis del financiamiento que deben considerar los agricultores según el costo que tenga la obra para ellos. Se supone que la obra será construida bajo los procedimientos que establece el DFL Nº1.123 de 1981. El análisis financiero de los predios tipo se basa en los siguientes supuestos:

- Las obras asociadas al riego se construyen en el primer año de análisis (año 0), correspondiendo al segundo período el inicio de la situación con proyecto.

- Se contempla el ofrecimiento de un crédito blando a 20 años para el pago de las obras, el que debe ser contrastado con la disposición de pago de los beneficiarios, a fin de obtener el subsidio requerido para llevar a cabo el proyecto. Se ha calculado el pago potencial con tasas de 2% y 4,5%.

- La tasa de descuento es de un 12%, al igual que la evaluación económica privada.

- Los valores de ingresos agropecuarios, costos directos de la actividad agropecuaria, costos indirectos, margen neto y margen neto corregido por el efecto hidrológico, para las situaciones Con y Sin proyecto, corresponden a los valores de mercado determinados, para cada predio tipo, en la estudio agroeconómico del estudio.

- El capital de trabajo considerado para las situaciones Sin y Con Proyecto corresponde a un 20% de los costos indirectos, otros costos y las inversiones de los tres primeros años, el que es financiado mediante crédito a 10 años con una tasa de interés de un 8,0%, en cuotas iguales.

- Se ha supuesto que la realización del proyecto debe permitir, a cada predio tipo, entregar al propietario una cierta rentabilidad por su actividad, que representa su sustento familiar. De esta forma se ha definido, para el diferencial de flujos entre las situaciones Sin y Con Proyecto. El factor así definido se aplica anualmente a la utilidad después del impuesto. Dado el nivel tecnológico existente, se adopta para todos los estratos una utilidad de 10%.

Al aplicar estos supuestos se obtuvieron los resultados presentados en los Cuadros 17.14-1 y 17.14-2 a nivel de predio promedio y superficie expandida en forma anual, respectivamente. Cabe destacar que el costo anual por hectárea de las obras es $11.298.830

[43]Referencias a esta justificación se encuentran disponibles en a) Brealey, R. y Myers, S. "Fundamentos de Financiación Empresarial"- 8a Edición. Mc Graw-Hill, 2006. b) Fontaine, E.R., "Evaluación Social de Proyectos", Publisher México: Pearson Educación de México, Editión 13a. Ed. 2008 y c) Contreras, E. "Apuntes de Evaluación de Proyectos". Universidad de Chile - Departamento de Ingeniería Industrial FCFM, Magister en Gestión y Políticas Públicas. 2012.

o $14.328.730, dependiendo si el interés por el pago diferido del proyecto es 2% o 4,5%, respectivamente. El detalle se presenta en el Anexo 17-3.
Al analizar los resultados presentados, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se observa que todos los estratos tienen problemas de flujo de caja en algún momento del proyecto.
- En general existen serias dificultades para pagar siquiera una parte menor del proyecto, por lo que en caso de construir la obra se necesitaría para la mayoría de los estratos subsidios mayores al 98%. En términos absolutos el subsidio anual requerido llega a $1.512.707.381 y $1.908.536.861 con tasas de 2% y 4,5%, respectivamente. Lo anterior es concordante con la no rentabilidad del proyecto.
- Un segundo efecto que debe tenerse en cuenta que dada la característica de agricultura de subsistencia la posibilidad de que los agricultores paguen un 20% de impuesto es remota, ya que parte de su producción es vendida en términos informales.
- En este caso, dado el alto costo del proyecto, la baja superficie incorporada y rentabilidad de los cultivos, aspectos como las inversiones intraprediales y el pago del crédito del capital de trabajo inicial tienen una relevancia menor.

## CUADRO 17.14-1
## DISPOSICIÓN DE PAGO ANUAL POR PREDIO PROMEDIO
## ESCENARIO SIN MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS
## SITIO 1 DE 3 HM$^3$

| Sector | Estrato | Superficie Predial (ha) | Valor inicial a Pagar ($) | Valor Dispuesto a Pagar ($) | Valor a Subsidiar ($) | Subsidio (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tasa de Interés Obras 2,0%** | | | | | | |
| 1 | 1 | 1,0 | 11.398.830 | 34.931 | 11.363.899 | 99,69 |
| | 2 | 2,7 | 30.396.879 | 758.217 | 29.638.663 | 97,51 |
| | 3 | 5,2 | 58.893.954 | 982.338 | 57.911.616 | 98,33 |
| | 4 | 9,0 | 102.589.468 | 1.130.040 | 101.459.428 | 98,90 |
| 2 | 1 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 3 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 4 | 17,9 | 204.039.053 | 3.710.417 | 200.328.637 | 98,18 |
| **Tasa de Interés Obras 4,5%** | | | | | | |
| 1 | 1 | 1,0 | 14.328.730 | 34.931 | 14.293.799 | 99,76 |
| | 2 | 2,7 | 38.209.946 | 758.217 | 37.451.729 | 98,02 |
| | 3 | 5,2 | 74.031.770 | 982.338 | 73.049.432 | 98,67 |
| | 4 | 9,0 | 128.958.567 | 1.130.040 | 127.828.527 | 99,12 |
| 2 | 1 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 3 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 4 | 17,9 | 256.484.262 | 3.710.417 | 252.773.845 | 98,55 |

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 17.14-2
## DISPOSICIÓN DE PAGO ANUAL POR PREDIOS EXPANDIDOS
## ESCENARIO SIN MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS
## SITIO 1 DE 3 HM3

| Sector | Estrato | Superficie Predial (ha) | Valor inicial a Pagar ($) | Valor Dispuesto a Pagar ($) | Valor a Subsidiar ($) | Subsidio (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tasa de Interés Obras 2,0%** | | | | | | |
| 1 | 1 | 2,0 | 22.797.660 | 69.862 | 22.727.798 | 99,69 |
| | 2 | 8,0 | 91.190.638 | 2.274.651 | 88.915.988 | 97,51 |
| | 3 | 15,5 | 176.681.862 | 2.947.015 | 173.734.847 | 98,33 |
| | 4 | 9,0 | 102.589.468 | 1.130.040 | 101.459.428 | 98,90 |
| | **Total** | **34,5** | **393.259.628** | **6.421.568** | **386.838.060** | **98,37** |
| 2 | 1 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 3 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 4 | 100,6 | 1.146.722.277 | 20.852.956 | 1.125.869.321 | 98,18 |
| | **Total** | **100,6** | **1.146.722.277** | **20.852.956** | **1.125.869.321** | **98,18** |
| **Área de Estudio** | | **135,1** | **1.539.981.905** | **27.274.524** | **1.512.707.381** | **98,23** |
| **Tasa de Interés Obras 4,5%** | | | | | | |
| 1 | 1 | 2,0 | 28.657.459 | 69.862 | 28.587.597 | 99,76 |
| | 2 | 8,0 | 114.629.838 | 2.274.651 | 112.355.187 | 98,02 |
| | 3 | 15,5 | 222.095.311 | 2.947.015 | 219.148.296 | 98,67 |
| | 4 | 9,0 | 128.958.567 | 1.130.040 | 127.828.527 | 99,12 |
| | **Total** | **34,5** | **494.341.175** | **6.421.568** | **487.919.607** | **98,70** |
| 2 | 1 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 3 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 4 | 100,6 | 1.441.470.209 | 20.852.956 | 1.420.617.253 | 98,55 |
| | **Total** | **100,6** | **1.441.470.209** | **20.852.956** | **1.420.617.253** | **98,55** |
| **Área de Estudio** | | **135,1** | **1.935.811.385** | **27.274.524** | **1.908.536.861** | **98,59** |

Fuente: Elaboración propia.

De manera similar se presentan los Cuadros 17.14-3 y 17.14-4, en los cuales se ha ponderado la disposición (capacidad) de pago y los subsidios, por hectárea y expandido, para cada estrato de tamaño predial, independiente del sector en el cual se encuentre. En estos cuadros se confirma que el estrato 1 requiere el mayor porcentaje de subsidio, mientras que en el estrato 2 el porcentaje es menor. De formas en todos los casos el subsidio es siempre cercano al 100%.

## CUADRO 17.14-3
## DISPOSICIÓN DE PAGO Y SUBSIDIO NECESARIO PONDERADO POR ESTRATO/HECTÁREA

| Estrato | Valor inicial a Pagar ($/ha) | Valor Dispuesto a Pagar ($/ha) | Valor a Subsidiar ($/ha) | Subsidio (%) |
|---|---|---|---|---|
| **Tasa de Interés Obras 2,0%** | | | | |
| 1 | 11.398.830 | 34.931 | 11.363.899 | 99,69 |
| 2 | 11.398.830 | 284.331 | 11.114.498 | 97,51 |
| 3 | 11.398.830 | 190.130 | 11.208.700 | 98,33 |
| 4 | 11.398.830 | 200.575 | 11.198.255 | 98,24 |
| **Total** | **11.398.830** | **201.884** | **11.196.946** | **98,23** |
| **Tasa de Interés Obras 4,5%** | | | | |
| 1 | 14.328.730 | 34.931 | 14.293.799 | 99,76 |
| 2 | 14.328.730 | 284.331 | 14.044.398 | 98,02 |
| 3 | 14.328.730 | 190.130 | 14.138.600 | 98,67 |
| 4 | 14.328.730 | 200.575 | 14.128.155 | 98,60 |
| **Total** | **14.328.730** | **201.884** | **14.126.846** | **98,59** |

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 17.14-4
## DISPOSICIÓN DE PAGO Y SUBSIDIO NECESARIO PONDERADO POR ESTRATO EXPANDIDO

| Estrato | Valor inicial a Pagar ($) | Valor Dispuesto a Pagar ($) | Valor a Subsidiar ($) | Subsidio (%) |
|---|---|---|---|---|
| **Tasa de Interés Obras 2,0%** | | | | |
| 1 | 22.797.660 | 69.862 | 22.727.798 | 99,69 |
| 2 | 91.190.638 | 2.274.651 | 88.915.988 | 97,51 |
| 3 | 176.681.862 | 2.947.015 | 173.734.847 | 98,33 |
| 4 | 1.249.311.745 | 21.982.996 | 1.227.328.749 | 98,24 |
| **Total** | **1.539.981.905** | **27.274.524** | **1.512.707.381** | **98,23** |
| **Tasa de Interés Obras 4,5%** | | | | |
| 1 | 28.657.459 | 69.862 | 28.587.597 | 99,76 |
| 2 | 114.629.838 | 2.274.651 | 112.355.187 | 98,02 |
| 3 | 222.095.311 | 2.947.015 | 219.148.296 | 98,67 |
| 4 | 1.570.428.777 | 21.982.996 | 1.548.445.781 | 98,60 |
| **Total** | **1.935.811.385** | **27.274.524** | **1.908.536.861** | **98,59** |

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, y tal como es solicitado en los términos de referencia del estudio, se ha intentado calcular los mismos indicadores anteriores en relación a los derechos de aprovechamientos

de aguas disponibles, expresados en $/l/s o $/acciones. En el caso del área de estudio, la mayor parte del agua a acumular por el embalse serán nuevos derechos de aprovechamiento que se distribuirán el sector 2, quedando una fracción menor en el sector 1, cuyos agricultores poseen derechos. Por ello, y como una forma de simplificar el análisis se ha decido utilizar como referencia para la estimación la demanda promedio del área de estudio, igual a 86,9 l/s, independiente del sector y de la posesión anterior de derechos de aprovechamiento. El Cuadro 17.14-5 resume los resultados para tasas de interés del pago de las obras de 2% y 4,5%.

**CUADRO 17.14-5**
**DISPOSICIÓN DE PAGO Y SUBSIDIO NECESARIO POR L/S**

| Tasa de Interés | Valor inicial a Pagar ($/l/s) | Valor Dispuesto a Pagar ($/l/s) | Valor a Subsidiar ($/l/s) | Subsidio (%) |
|---|---|---|---|---|
| 2,0% | 17.726.239 | 313.948 | 17.412.290 | 98,23 |
| 4,5% | 22.282.505 | 313.948 | 21.968.557 | 98,59 |

Fuente: Elaboración propia.

## *18.15. Recomendación del Proyecto*

Los resultados económicos muestran en forma categórica que el proyecto para cualquiera de sus ubicaciones, tamaños y supuestos, no resulta conveniente de realizar ni continuar en las siguientes etapas de evaluación. La alternativa con mejores resultados es el Sitio 1 con un volumen útil de 3 $hm^3$ con un VAN social de $-24.151,5 millones, muy lejos de la rentabilidad positiva.

Incluso, los resultados indican que, ni siquiera cuando la obra sea construida en forma gratuita, los agricultores serían capaces de solventar los costos de operación y mantenimiento.

El principal motivo de estos resultados es el alto costo de las obras de almacenamiento y conducción, en contraste con el incipiente beneficio en la agricultura dada la mala calidad del agua, lo que no permite la implementación de cultivos de alto rendimiento económico. Lo anterior también se encuentra ligado a una escaza disponibilidad de recursos en el cauce, que obliga a construir un embalse de tamaño mayor para lograr una superficie de riego seguro muy pequeña.

Finalmente, este proyecto quizás podría volver a postularse, solamente con un subsidio casi total, el día en que los costos de tratamiento del agua para riego bajen en forma sustancial, porque con agua de buena calidad, lograda a bajo costo, se pueden cambiar los actuales cultivos por otros bastante más rentables y que requieran una cantidad mucho menor de agua.

# 19. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

Se ha desarrollado el Estudio de Prefactibilidad del Proyecto Construcción Embalse Pintanane en Quebrada de Aroma, comuna de Huara, obteniéndose las siguientes conclusiones y recomendaciones principales:

**1.** La ubicación de los posibles embalses en la quebrada de Aroma está acotada entre el sector de Misticsa y Pailca, básicamente por las siguientes razones:

**Aguas Arriba,** se encuentra el Parque Nacional Isluga, el cual tiene como límite occidental la quebrada de Sapte que se une a la de Aroma a unos 3 kilómetros aguas arriba de la alterativa ALT1. Existe en ese sector un posible sitio que tendría características mejores, pero ejecutar una obra de estas características dentro del parque nacional lo hace no factible.

**Aguas Abajo,** se encuentra el sector de Pailca, que corresponde al primer sector de riego que se beneficiaría con el proyecto de embalse a unos 4,8 km de la alternativa ALT3, que es la ubicada más abajo. Además, inmediatamente aguas abajo de dicho sector, hay presencia de sitios arqueológicos los cuales están protegidos por la ley 17.288, y por ende, no pueden ser alterados. Esto motivó el descarte de la antigua alternativa de embalse, denominada Pintanane.

**2.** Desde el punto de vista geológico y geotécnico el mejor sitio para el emplazamiento del muro es la alternativa ALT1, ubicada aguas arriba del resto, ya que los materiales de apoyo encontrados en las otras alternativas serían producto de remociones en masa, que no dan certeza respecto de la estabilidad de los estribos en donde se apoyaría el muro.

Los sondajes realizados en los sitios ALT1, ALT2 y ALT3 muestran la presencia de conglomerados compactados a semi-compactados, al menos hasta los 40 metros de profundidad. Se midieron permeabilidades entre los $10^{-6}$ m/s y $10^{-9}$ m/s. Más abajo, se encuentra la roca madre. Por dichas razones, fue necesario proyectar una pared moldeada que disminuye los flujos por subterráneos que eventualmente podrían debilitar la estabilidad del muro.

**3.** Desde el punto de vista de disponibilidad de materiales para la construcción del muro en las 3 alternativas de emplazamiento, y según los resultados de las exploraciones y ensayos de laboratorio ejecutados, es que la presa más adecuada para el proyecto corresponde a una del tipo CFGD, es decir, una presa de grava con pantalla de hormigón.

**4.** El estudio hidrológico permitió determinar un caudal de diseño de 41 $m^3/s$ para el túnel de desvío y un caudal de diseño de 180 $m^3/s$ (320 $m^3/s$ caudal de verificación) para las obras de seguridad (vertedero, canal colector, canal de descarga, rápido de descarga y disipador de energía) bajo los criterios del "Reglamento de Obras Mayores de la Dirección General de Aguas", 2011. De igual forma, el estudio sedimentológico permitió definir un volumen muerto del embalse de 6,0 $hm^3$.

**5.** La disponibilidad de agua en el valle es suficiente para satisfacer la demanda de riego, sin embargo, la cantidad de superficie con actual uso no supera las 20 ha. Es por ello, que se propuso una nueva área de riego en el sector de Cerro Unitas, a unos 10 km de la localidad de Huara. En el valle de la quebrada de Aroma ya casi no quedan terrenos agrícolas, entre otras razones, por haber sido arrastrados los suelos por las crecidas y es demasiado caro intentar recuperarlos.

**6.** Respecto de la calidad del agua presente en la quebrada, los resultados muestran que los parámetros cuya concentración es superior a los límites máximos establecidos por la NCh Nº1.333, según los requisitos de agua para riego, son: arsénico, boro, cloruros, fluoruros, litio, sodio porcentual, sulfatos, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.

Como conclusión del análisis de la información de calidad de agua disponible por la DGA y de las muestras tomadas en terreno, las aguas de la Quebrada de Aroma no son adecuadas para cualquier tipo de plantaciones, si no que sólo en especies tolerantes o adaptados a dichas condiciones, como es común en los ríos del norte del país, significando una gran limitación para la diversificación de cultivos. En efecto, sólo se pueden producir aquellos más resistentes y adaptados a las condiciones de calidad del agua, que son la alfalfa y el maíz. A pesar de lo anterior, sí son adecuadas para permitir la vida acuática en ella.

**7.** Por la razón anterior, previendo que el proyecto no resultaría rentable, se consideró la evaluación de dos condiciones de calidad de agua, una que considera la calidad actual y otra con agua tratada para la incorporación de nuevas especies. La idea fue, conociendo que el tratamiento de las aguas para riego hoy en día es demasiado caro, poder verificar la rentabilidad futura en la medida que los costos del tratamiento bajen.

**8.** Las características de los agricultores (fundamentalmente de subsistencia) y del área de estudio, además de la magnitud del cambio productivo propuesto, justifican la necesidad de realizar inversiones adicionales al embalse, en tecnificación del riego, lo que permite implementar nuevos cultivos y una producción más intensiva y rentable en el área. En la evaluación agroeconómica se han contemplado los costos de inversión y mantención anual de sistemas de aspersión para alfalfa y goteo para hortalizas, los que solo se conciben si se considera el mejoramiento de la calidad de las aguas.

**9.** Los cambios propuestos no podrían concretarse sin una significativa asistencia técnica y transferencia tecnológica con enfoque local que permita incorporar prácticas de manejo productivo, eficiencia de riego y uso de las obras óptimas para el área de estudio, facilitando el paso a una agricultura con un mayor nivel tecnológico. Por ello, se ha considerado un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica que involucra a todos los agricultores beneficiados por el proyecto, el cual tendría una duración variable dependiendo del tipo de predio partícipe. Este ámbito es clave para aumentar las posibilidades de desarrollo de los agricultores.

**10.** La máxima superficie regada en el caso de los escenarios de calidad analizados corresponde a 256 ha y 205 ha, asociadas a un embalse de volumen útil de 15 $hm^3$, para calidad de agua actual y mejorada respectivamente.

En la curva de volumen útil versus superficie regada se observa un quiebre en los 7,5 $hm^3$ (214 ha y 177 ha según escenario de calidad actual y mejorada), a partir del cual el aumento de superficie con seguridad del 85 % comienza a aumentar en forma marginal con respecto al aumento del volumen del embalse.

**11.** Se estima que la construcción del embalse podría disminuir la infiltración actual desde la quebrada de Aroma a la Pampa del Tamarugal de 300 l/s, que se estiman actualmente, a 217 l/s y 247 l/s considerando situación con calidad actual y mejorada respectivamente, para las alternativas de embalse de 15 $hm^3$, que considera el caso que genera mayor cantidad de hectáreas de riego (256 ha y 205 ha para situación con calidad actual y mejorada, respectivamente).

La baja disminución de los caudales de infiltración (del orden del 28% y 18%) son explicados por el hecho de que el agua almacenada en el embase es transportada por el río para su entrega por un tramo cercano a los 16 km. Además, el riego en la pampa considera el lavado del suelo, caudal que va directamente en su mayoría al acuífero existente, otra parte se evapora.

**12.** Respecto a los datos recopilados, no existirían terrenos a expropiar para la realización del proyecto, ya que la totalidad de las tierras pertenecería al Ministerio de Bienes Nacionales. A pesar de lo anterior, se consideró para la evaluación del estudio, la expropiación de 2,21 ha en el sector de Misticsa correspondiente a unas eras, actualmente sin uso, que serían inundadas por el embalse.

A partir de lo anterior, en un análisis posterior, sería conveniente ***profundizar el análisis en torno de la tenencia de la tierra***. Se recomienda estudiar con mayor profundidad la situación de la tenencia de la tierra –uso efectivo- versus la propiedad jurídica de ésta, ya que se han observado diferencias considerables entre la información "oficial", proporcionada por Bienes Nacionales, y el uso u ocupación efectiva de la tierra.

El área de estudio se caracteriza por estar ubicada en un sector rural de la comuna de Huara, el cual por sus características geomorfológicas y climáticas, albergó en el pasado actividad agrícola y ganadera. Esta actividad aún se mantiene en la quebrada de Aroma, sin embargo con intensidad decreciente en el tiempo. Se pueden encontrar algunos agricultores de ascendencia indígena aymara que cultivan en el lecho del río en los sectores de Aroma, Misticsa, Pailca, Cala Cala, y Ariquilda, encontrándose también algunos sectores en los cuales se desarrolló actividad agrícola en el pasado (en este caso se suma también el sector de Curaña), encontrándose eras abandonadas, pircas o construcciones tipo corral que hacen suponer también una mayor presencia de uso ganadero de la quebrada en el pasado. Los agricultores que ocupan actualmente estos sectores reconocen límites a los terrenos de los que son tenedores y los de sus vecinos, y han manifestado el uso

consuetudinario de estas tierras por parte de sus antepasados. Para el caso específico de la quebrada de Aroma, fue posible constatar que la propiedad jurídica no necesariamente les corresponde. Para 10 propiedades estudiadas, solamente dos son reconocidas como regularizadas en su dominio por parte del Ministerio de Bienes Nacionales.

**13.** En relación con las interferencias de la obra estudiada, el área de inundación afectaría la Ruta A-459, la cual debe ser repuesta por medio de una variante de camino, proyectada a una cota adecuada.

**14.** En relación con la generación hidroeléctrica a pie de embalse, se determinó que esta no es factible por la necesidad de construir una línea de transmisión muy larga, además de la poca potencia disponible.

**15.** Respecto al control de crecidas, el análisis realizado indica que los beneficios son prácticamente nulos debido a la precaria infraestructura que se podría proteger y a que gran parte de la superficie, en la cual se podría practicar la agricultura, fue devastada y arrastrada por las crecidas. Por el contrario, el costo para construir el muro es del orden de los 500 a 700 millones de pesos. De todas maneras, el hecho de incluir un embalse en la quebrada generaría una disminución de los caudales de crecidas de periodos de retorno menores a 50 años y, mayores a 50 años, en tormentas de poca duración.

**16.** Respecto a la componente de Participación Ciudadana, uno de los principales obstáculos que se ha presentado durante el desarrollo del Estudio ha sido la dispersión de los potenciales beneficiarios del proyecto. Esto se ha logrado subsanar mediante una amplia cobertura, debido a la migración que ha ocurrido en el área de estudio.

A partir de lo anterior, se considera necesario **contar con una "contraparte social**". Es posible sostener, a partir de la ejecución de este Estudio de Prefactibilidad, que se hace no sólo necesario en general, sino que también con algún grado de urgencia, contar con una contraparte social (comunitaria, organizacional u otra denominación equivalente). Dadas las características de la iniciativa estudiada en el área, el tipo organizacional más pertinente en este contexto será indudablemente el de "comunidad de aguas", en cualquiera de las formas específicas consignadas en el Código de Aguas, a fin de que los organismos del Estado tengan la posibilidad cierta de interlocutar con una o más organizaciones de usuarios de aguas (OUA's) en la quebrada de Aroma en particular y/o en la pampa del Tamarugal, en general.
La situación existente durante la etapa de prefactibilidad, es la completa ausencia de OUA's u otra organización comunitaria o de otro carácter que ya sea en función de sus integrantes, amplia base societaria u otra elemento distintivo, pudiera ser efectivamente validada como contraparte social en el ámbito de la gestión de los recursos hídricos en el área de estudio. Independiente de cuál sea el escenario futuro, ya sea pasando a etapa de factibilidad del Proyecto así como cualquier otra alternativa, se hace necesario promover e impulsar la conformación de OUA's en el territorio.

La conformación de una o más de este tipo de organizaciones no sólo significará la efectiva presencia de una contraparte social para las etapas siguientes de este mismo Proyecto u otra iniciativa en el ámbito de los recursos hídricos, sino que en la medida de que esta/s naciente/s organización/es cuente/n con el acompañamiento y asesoría pertinentes, se podrá anticipar e ir perfilando futuros escenarios en los se requiera de organizaciones sólidas para la gestión / administración de infraestructura de riego u otros requerimientos en la materia.

**17.** Se perciben algunas situaciones que han generado algún grado de controversia, como la desconfianza en las instituciones especialmente en cuanto al otorgamiento de derechos de agua (DGA); la potencial influencia que tendría el detener el escurrimiento normal de las aguas en crecida para embalsarla, sobre el sistema acuífero de la pampa del Tamarugal; la reglamentación de la Consulta Indígena en el marco del Convenio 169 de la OIT. Entre otras.

**18.** De acuerdo con la evaluación económica realizada con el método del presupuesto, el proyecto de riego no es rentable tanto a precios sociales como privados, para todas las alternativas consideradas, es decir el VAN es siempre menor a cero, lo que se explica principalmente por el alto costo de las obras en contraste con los muy bajos beneficios. Para el caso de los métodos del valor incremental de la tierra y de las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas, el proyecto tampoco es conveniente para ninguna de las alternativas. En el Cuadro 18-1 se resumen los costos sociales de construcción por alternativa y capacidad analizada.

## CUADRO 18-1
## RESUMEN DE COSTOS SOCIALES POR CAPACIDAD DE EMBALSE. CALIDAD ACTUAL Y MEJORADA. TOTAL NETO; INCLUYE GG, UTILIDADES Y CONTINGENCIAS (45%)

| Calidad de Agua | Alternativa | Volumen Útil (hm³) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| Actual | ALT1 | 24.285.384.545 | 28.915.575.606 | 30.957.549.497 | 33.410.953.517 | 36.877.811.701 |
| | ALT2 | 26.325.499.575 | 31.439.260.214 | 35.844.554.365 | 40.054.114.347 | 41.929.761.480 |
| | ALT3 | 28.072.094.444 | 31.842.999.078 | 33.705.410.503 | 37.907.930.207 | 40.497.819.085 |
| Mejorada | ALT1 | 39.664.179.947 | 48.676.138.949 | 53.837.838.530 | 57.470.333.317 | 62.170.392.804 |
| | ALT2 | 41.704.294.977 | 51.199.823.557 | 58.724.843.398 | 64.113.494.147 | 67.222.342.583 |
| | ALT3 | 43.450.889.846 | 51.603.562.421 | 56.585.699.536 | 61.967.310.007 | 65.790.400.188 |

Fuente: Elaboración Propia

**19.** El análisis de sensibilidad de las variables más relevantes muestra que es necesario un cambio simultáneo muy significativo en el costo del embalse, de sus operacionales y ambientales para que el proyecto se vuelva rentable a precios sociales, llegando a

valores cercanos al 100%. Por otra parte los ingresos agroeconómicos deberían incrementarse en casi 9 veces (772,92%) para lograr un VAN social positivo.

**20.** Con respecto a la evaluación financiera, es importante destacar que la capacidad y disposición de pago determinada es muy baja con respecto al total del valor anual a desembolsar por el costo del embalse ($11.298.830/ha o $14.328.730/ha, dependiendo si el interés por el pago diferido del proyecto es 2% o 4,5%, respectivamente), lo que trae como consecuencia que el subsidio propuesto sea, para todos los tipos de predios analizados, sobre el 98%, lo que es concordante con la no rentabilidad del proyecto.

## Recomendaciones Finales

**1.** Finalmente, dada la rentabilidad social muy negativa del proyecto, **se recomienda no continuar con éste en la etapa de factibilidad** ya que difícilmente se justifique su construcción para ser postulado vía D.F.L.N°1.123 de 1981.

**2.** A opinión del consultor la única forma para que el proyecto siga su proceso de evaluación es por la vía de la excepción, será por lo tanto, materia de gobierno analizar si se construye. En el caso de que esto suceda se considera necesario realizar los siguientes análisis, ya que de no ser así, la construcción del embalse podría afectar componentes que hasta el momento no han sido consideradas:

- Modelo acabado del sistema Pampa del Tamarugal que simule la interacción entre la napa y los cursos superficiales que descargan a la pampa, que además, permita realizar los siguientes análisis:

    - Análisis del equilibrio de la napa y efectos sobre ésta por la construcción de un embalse u otro tipo de obra que obstaculice el flujo de aguas superficiales y/o subterráneas normales de la cuenca.

    - Análisis de los efectos sobre la napa y sobre el ecosistema que sostiene (Ej. Tamarugos) debido a la demanda de agua asociada a minería y agua potable.

  Para ello se hace necesario la constante medición de los caudales, de las quebradas que incluyen el sistema pampa el Tamarugal, en puntos estratégicos tales como zonas de afloramientos, zonas de infiltración, inicio y fin de bofedales, etc.; construcción de una red de pozos de medición que permitan monitorear los niveles freáticos de la napa; instalación de estaciones pluviométricas; análisis del incremento poblacional del sector de Huara, entre otros.

- **Considerar proceso de consulta indígena según estándares del Convenio 169**. En lo que sigue del Proyecto, debe implementarse un proceso de participación y consulta indígena según los estándares del Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), esto en pos de la recomendación efectuada por la Corte Interamericana de Derechos Humanos, en cuanto “se debe consultar [a los

pueblos indígenas] en las primeras etapas del plan… y no únicamente cuando surja la necesidad de obtener la aprobación de la comunidad"[44].

Tanto los poseedores de los derechos de aprovechamiento de aguas, los dueños y/o usufructuarios de algunos de los terrenos afectados y un importante porcentaje de los agricultores potencialmente beneficiarios corresponden a organizaciones y/o personas de ascendencia indígena del pueblo Aymara.
El proceso de participación y consulta debe estar íntimamente ligado al desarrollo de la ingeniería del proyecto, por lo que los procesos deben ser consensuados con el pueblo afectado, a través de sus instituciones representativas, idealmente en forma previa a la próxima etapa de factibilidad, en caso de implementarse. La propuesta en este sentido es la conformación de una mesa de trabajo con los representantes y/o líderes de las organizaciones que forman parte del área afectada en un proceso de autodeterminación y tal como se indica anteriormente, en el marco de un proceso previamente consensuado con el pueblo afectado en esta instancia, de manera de obtener como producto de este trabajo los aspectos distintivos de lo que será posteriormente, los "términos de referencia" de la etapa siguiente del Proyecto, en concordancia con las inquietudes de las comunidades indígenas afectadas directamente.
Así entonces, se propone "anticipar" una posible fuente de conflicto y de esta forma intentar atenuar el habitual reclamo inicial de parte de las comunidades, en orden a recién enterarse de este tipo de proyectos una vez que han sido licitados y ya adjudicados a una empresa consultora. En definitiva, se recomienda la inclusión expresa del proceso de "consulta indígena", ya sea como parte del mismo componente PAC ó bien como un apartado diferenciado, puesto que probablemente la sola omisión de éste, en una siguiente etapa del Proyecto, generaría una potencial fuente de conflicto.

- Se recomienda **atender a las particularidades del contexto del Proyecto**. Es necesario tener en consideración un elemento de carácter transversal y con un sin número de consecuencias en los distintos ámbitos del Proyecto, mucho más allá de la sola "ingeniería" y por ello con múltiples aristas comunicacionales, políticas, culturales, entre muchas otras, y es el hecho de que el sistema acuífero de la Pampa del Tamarugal representa la fuente de agua no sólo para el consumo humano en las distintas concentraciones urbanas de la Región de Tarapacá sino que también para las actividades extractivas que representan a su vez el motor de la estructura económica regional: la minería. Es este un elemento que es necesario tener siempre a la vista y que al menos en parte, explica algunas otras particularidades en la Región, con posible incidencia en posteriores etapas del Proyecto.

[44] Sentencia caso pueblo indígena Kichwa de Sarayaku vs. Ecuador, año 2012.