"CONSTRUCCIÓN EMBALSE UMIRPA PARA REGADÍO EN CUENCA VÍTOR, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA"

INFORME FINAL

VOLUMEN 1
ESTUDIO DE INGENIERÍA

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2012

CNR
Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

Comisión Nacional de Riego

"CONSTRUCCIÓN EMBALSE UMIRPA PARA REGADÍO EN CUENCA VÍTOR, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA"

INFORME FINAL

VOLUMEN 1: ESTUDIO DE INGENIERÍA

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2012

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

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN EMBALSE UMIRPA PARA REGADÍO EN CUENCA VÍTOR, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA"

ESTUDIO DE INGENIERÍA
DICIEMBRE 2012
ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO

VOLUMEN 1: ESTUDIO DE INGENIERÍA

VOLUMEN 2: ESTUDIOS AGROECONÓMICOS

VOLUMEN 3: ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL

VOLUMEN 4: PARTICIPACIÓN CIUDADANA

VOLUMEN 5: ÁLBUM DE PLANOS DE ESTUDIO DE INGENIERIA

VOLUMEN 6: ÁLBUM DE PLANOS DE ESTUDIO AGROECONÓMICO

VOLUMEN 7: TOPOGRAFÍA

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN EMBALSE UMIRPA PARA REGADÍO EN CUENCA VÍTOR, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA"

ESTUDIO DE INGENIERÍA
DICIEMBRE 2012
ÍNDICE

ACÁPITE	CONTENIDO	NÚMERO
1	**INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**	**1-1**
1.1.	INTRODUCCIÓN	1-1
1.2.	IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1-1
1.3.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1-2
1.4.	CONTENIDO DEL INFORME FINAL	1-3
2	**ÁREA DE ESTUDIO**	**2-1**
2.1.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE PROYECTO	2-1
2.2.	ANTECEDENTES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO	2-2
2.2.1.	Estructura Político - Administrativa	2-2
2.2.2.	Características Físicas	2-3
2.2.3.	Antecedentes Demográficos y Socioeconómicos	2-7
2.2.4.	Condiciones de Vida de la Población	2-17
3	**RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES**	**3-1**
3.1.	REVISIÓN DE ESTUDIOS	3-1
3.1.1.	Estudios Área Civil	3-1
3.1.2.	Estudios de Recursos Hídricos	3-6
3.1.3.	Estudios Área Geología y Geotecnia	3-7
3.1.4.	Estudios Área Agronómica	3-11
3.1.5.	Estudios Área Ambiental	3-16
3.1.6.	Estudios Otras Áreas	3-18
3.2.	ANTECEDENTES CARTOGRÁFICOS Y ESPACIALES	3-19
3.3.	ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	3-20
3.3.1.	Geomorfología	3-20
3.3.2.	Geología	3-21
3.4.	ANTECEDENTES DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS Y ORGANIZACIONES DE USUARIOS	3-23
3.5.	ANTECEDENTES AMBIENTALES	3-24
3.5.1.	Calidad de Aguas	3-24
3.5.2.	Vegetación	3-25
3.5.3.	Sitios Protegidos y Biodiversidad	3-25
3.5.4.	Otros Antecedentes	3-26
3.6.	ANTECEDENTES DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES	3-26

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

ACÁPITE	CONTENIDO	NÚMERO
3.6.1.	Caracterización de los Recursos Hídricos Superficiales	3-26
3.6.2.	Antecedentes Pluviométricos	3-27
3.6.3.	Antecedentes Fluviométricos	3-29
3.6.4.	Eventos Hidrometeorológicos Extremos	3-31
3.6.5.	Antecedentes Sedimentológicos	3-37
3.7.	ANTECEDENTES DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS	3-39
3.8.	CATASTRO DE LAS OBRAS	3-40
4	**CARTOGRAFÍA, TOPOGRAFÍA, PROSPECCIONES E HIDROLOGÍA SITIOS DE EMBALSE**	**4-1**
4.1.	GENERALIDADES	4-1
4.2.	TRABAJOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS Y TOPOGRÁFICOS	4-1
4.2.1.	Levantamiento Aerofotogramétrico	4-1
4.2.2.	Trabajos Topográficos	4-1
4.3.	ESTUDIO HIDROLÓGICO	4-3
4.3.1.	Introducción	4-3
4.3.2.	Antecedentes Hidrometeorológicos	4-4
4.3.3.	Pluviometría	4-4
4.3.4.	Fluviometría	4-17
4.3.5.	Estimación de Flujo Base	4-29
4.3.6.	Estimación de Escorrentía Directa	4-37
4.3.7.	Caudal Total en Alternativas de Embalse	4-45
4.3.8.	Caudales de Crecida	4-50
4.3.9.	Volumen Muerto	4-60
4.3.10.	Estación Fluviométrica	4-69
4.4.	PROSPECCIONES Y ENSAYOS	4-91
4.4.1.	Introducción	4-91
4.4.2.	Programa de Ejecución	4-91
4.4.3.	Descripción de Prospecciones	4-92
4.4.4.	Resultado de Ensayos	4-100
4.4.5.	Análisis y Conclusiones	4-107
5	**RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS PARA LA PRESA**	**5-1**
5.1.	INTRODUCCIÓN	5-1
5.2.	ANÁLISIS DE ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS	5-3
5.2.1.	Introducción	5-3
5.2.2.	Marco Geomorfológico General	5-3
5.2.3.	Marco Geológico de los Terrenos Comprometidos en el Emplazamiento Alternativo de los 3 Muros	5-4

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

ACÁPITE	CONTENIDO	NÚMERO
5.2.4.	Alternativa Umirpa AU -1	5-4
5.2.5.	Alternativa Umirpa AU - 2	5-8
5.2.6.	Alternativa Umirpa 3, AU- 3	5-12
5.2.7.	Riesgos Geológicos	5-14
5.2.8.	Materiales de Empréstito	5-15
5.2.9.	Análisis y Selección de Alternativas para el Emplazamiento del Muro del Proyecto	5-16
5.2.10.	Referencias	5-18
5.3.	TIPO DE PRESA EN CADA EMPLAZAMIENTO	5-18
5.3.1.	Sitio 1	5-19
5.3.2.	Sitio 2	5-19
5.3.3.	Sitio 3	5-20
5.3.4.	Elección del Tipo de Presa	5-20
5.4.	DEFINICIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS	5-20
5.4.1.	Evaporación	5-21
5.5.	ESTUDIO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, CRECIDAS Y SEDIMENTACIÓN	5-23
5.5.1.	Aguas Superficiales	5-23
5.5.2.	Aguas Subterráneas	5-24
5.6.	CAPACIDAD DE LOS EMBALSES	5-24
5.7.	EVALUACIÓN DE ANTEPROYECTO DE CAMINOS	5-26
5.7.1.	Generalidades	5-26
5.7.2.	Descripción del Anteproyecto de Camino	5-26
5.7.3.	Trazados de Variantes de Caminos	5-29
5.7.4.	Costos de Construcción	5-34
5.8.	EVALUACIÓN PARA RED DE CANALES	5-34
5.8.1.	Introducción	5-34
5.8.2.	Catastro de Canales Matrices y Secundarios	5-35
5.8.3.	Análisis de la Infraestructura de Riego	5-37
5.8.4.	Capacidad Máxima Actual de los Canales	5-38
5.8.5.	Estimación Preliminar del Caudal a Transportar	5-39
5.8.6.	Desarrollo de los Trazados	5-62
5.8.7.	Sectorización Geotécnica de los Trazados	5-64
5.9.	DISEÑO SIMPLIFICADO E INVERSIONES DE CADA EMBALSE	5-65
5.9.1.	Introducción	5-65
5.9.2.	Diseño Simplificado de la Presa	5-65
5.9.3.	Diseño Simplificado de Obras de Conducción y Distribución	5-75
5.9.4.	Costo de las Inversiones	5-85
5.10.	ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL	5-92

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

ACÁPITE	CONTENIDO	NÚMERO
5.11.	EVALUACIÓN DE CADA SITIO Y SELECCIÓN DEL MEJOR EMPLAZAMIENTO	5-95
5.11.1.	Introducción	5-95
5.11.2.	Antecedentes Considerados y su Evaluación Cualitativa	5-95
5.11.3.	Costos Totales	5-108
5.11.4.	Análisis y Recomendación Final	5-108
6	**ESTUDIOS BÁSICOS SITIO SELECCIONADO**	**6-1**
6.1.	INTRODUCCIÓN	6-1
6.2.	ESTUDIO GEOLÓGICO	6-1
6.2.1.	Introducción	6-1
6.2.2.	Marco Geomorfológico General	6-2
6.2.3.	Marco Geológico	6-3
6.2.4.	Riesgos Geológicos	6-6
6.2.5.	Materiales de Empréstito	6-6
6.2.6.	Características y Comportamientos Geotécnicos	6-8
6.2.7.	Conclusiones	6-15
6.2.8.	Referencias	6-16
6.3.	ESTUDIO GEOTÉCNICO	6-17
6.3.1.	Introducción	6-17
6.3.2.	Antecedentes Utilizados	6-20
6.3.3.	Propiedades del Suelo de Fundación	6-20
6.3.4.	Conclusiones de la Exploración y de los Ensayes	6-22
6.4.	ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO	6-24
6.4.2.	Estimación Gasto Sólido de Fondo (GSF)	6-31
6.5.	EVALUACIÓN DE CRECIDAS EN QUEBRADAS LATERALES EN EL SECTOR DE CANALES	6-44
6.5.1.	Puntos de Análisis	6-44
6.5.2.	Fórmula Racional	6-48
6.5.3.	Fórmula de Verni-King	6-51
6.5.4.	Conclusión Sobre Método Adoptado	6-53
6.6.	ESTUDIO GEOFÍSICO	6-55
6.6.1.	Introducción	6-55
6.6.2.	Metodología Utilizada	6-57
6.6.3.	Trabajo de Terreno	6-58
6.6.4.	Resultados y Conclusiones	6-58
7	**ESTUDIO AGROECONÓMICO**	**7-1**
7.1.	INTRODUCCIÓN	7-1
7.2.	ÁREA DE INFLUENCIA Y SECTORES DE RIEGO	7-1

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

ACÁPITE	CONTENIDO	NÚMERO
7.3.	ASPECTOS AGROLÓGICOS	7-1
7.4.	ASPECTOS CLIMÁTICOS	7-3
7.5.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL AGROPECUARIA	7-5
7.5.1.	Listado de Agricultores y Estructura de la Propiedad Agrícola	7-5
7.5.2.	Encuesta Agropecuaria y Estudios de Caso	7-7
7.5.3.	Resultados Situación Actual Agropecuaria	7-8
7.6.	SITUACIÓN ACTUAL OPTIMIZADA	7-8
7.7.	SITUACIÓN AGROPECUARIA FUTURA O CON PROYECTO	7-9
7.7.1.	Caracterización Productiva	7-9
7.7.2.	Costos Indirectos y Gastos Generales	7-12
7.7.3.	Inversiones en Tecnificación del Riego	7-12
7.7.4.	Habilitación de Terrenos	7-13
7.7.5.	Programa de Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica	7-13
7.7.6.	Organización de Usuarios y Factibilidad Legal	7-14
7.8.	DEMANDAS DE AGUA	7-16
7.9.	BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO	7-17
7.9.1.	Determinación de Flujos Agroeconómicos	7-17
7.9.2.	Balance de Mano de Obra	7-20
8	**ESCENARIOS DEL PROYECTO**	**8-1**
9	**MODELO DE SIMULACIÓN SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE RIEGO QUEBRADA DE VÍTOR**	**9-1**
9.1.	OBJETIVOS Y ALCANCES	9-1
9.1.1.	Objetivo General	9-1
9.1.2.	Objetivos Específicos	9-1
9.1.3.	Alcances	9-1
9.2.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO	9-2
9.3.	INFORMACIÓN UTILIZADA POR EL MODELO	9-5
9.3.1.	Estadísticas Hidrológicas	9-5
9.3.2.	Demandas de Agua	9-7
9.3.3.	Superficies de Cada Sector	9-11
9.3.4.	Curvas Características del Embalse	9-11
9.3.5.	Evaporación del Embalse	9-14
9.4.	PROCESOS DE CÁLCULO	9-15
9.4.1.	Regla de Operación del Embalse	9-15
9.4.2.	Seguridad de Riego	9-16
9.4.3.	Parámetros del Modelo	9-16
9.4.4.	Secuencia de Cálculo y Resultados	9-17
9.4.5.	Cálculo de la Energía Generada	9-19

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

ACÁPITE	CONTENIDO	NÚMERO
9.5.	RESULTADOS OBTENIDOS	9-20
9.5.1.	Escenario N° 1, de Situaciones Actual y Actual Optimizada (Sin Proyecto)	9-20
9.5.2.	Escenario Nº 2: Con Proyecto de Embalse	9-23
9.5.3.	Escenario Nº 3: Con Proyecto de Embalse y Tubería de Distribución	9-25
9.6.	RESUMEN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	9-27
9.7.	ANEXOS DIGITALES	9-29
10	**DISEÑOS PRELIMINARES**	**10-1**
10.1.	PRESENTACIÓN	10-1
10.2.	CAPACIDADES DE EMBALSE	10-1
10.3.	DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PRESA	10-4
10.3.1.	Conclusiones de la Exploración y de los Ensayes	10-4
10.3.2.	Propiedades Mecánicas	10-5
10.3.3.	Diseño	10-10
10.3.4.	Sistema de Instrumentación	10-15
10.3.5.	Cálculo de Filtraciones	10-16
10.3.6.	Inyecciones	10-17
10.3.7.	Excavaciones y Recomendaciones de Construcción	10-18
10.4.	DISEÑOS HIDRÁULICOS DE OBRAS DE EVACUACIÓN DE CRECIDAS	10-21
10.4.1.	Revancha del Embalse Proyectado	10-21
10.4.2.	Rápido de Descarga	10-32
10.4.3.	Disipador de Energía	10-38
10.5.	DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS ANEXAS	10-42
10.5.1.	Obras de Captación, Entrega y Desagüe	10-42
10.5.2.	Túnel de Desvío	10-46
10.6.	DISEÑO SIMPLIFICADO DE OBRAS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	10-48
10.6.1.	Criterio para Realizar Mejoramientos	10-48
10.6.2.	Caudal de Diseño	10-48
10.6.3.	Criterios de Diseño para Canales Abiertos	10-51
10.6.4.	Capacidad Máxima de Canales Existentes	10-55
10.6.5.	Criterios de Diseño Tuberías en Presión	10-56
10.6.6.	Cálculos y Dimensiones de las Obras Proyectadas	10-59
10.7.	DISEÑO OBRAS COMPLEMENTARIAS	10-68
10.7.1.	Generalidades	10-68
10.7.2.	Descripción del Anteproyecto de Camino	10-68
10.7.3.	Trazados de Variantes de Caminos	10-71
10.8.	ANTEPROYECTO SISTEMA DE CONTROL DE CAUDALES	10-74

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

ACÁPITE	CONTENIDO	NÚMERO
10.8.1.	Introducción	10-74
10.8.2.	Puntos de Control y Aforo	10-75
10.9.	PRESUPUESTOS	10-89
10.9.1.	Costo de las Inversiones	10-89
10.9.2.	Gráficos de Interés	10-96
10.9.3.	Conclusiones	10-99
11	**ALTERNATIVAS DE NEGOCIO DE HIDROGENERACIÓN**	**11-1**
11.1.	COSTOS DE MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS (MCH)	11-1
11.2.	FACTIBILIDAD DE LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA	11-3
11.3.	CONCLUSIONES	11-6
12	**ANÁLISIS DE EFECTO REGULADOR DE CRECIDAS DEL EMBALSE**	**12-1**
12.1.	METODOLOGÍA	12-1
12.1.1.	Objetivo	12-1
12.1.2.	Consideraciones Generales	12-1
12.1.3.	Procedimiento de Cálculo	12-1
12.1.4.	Método de Balance	12-2
12.2.	CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE Y VERTEDERO	12-3
12.3.	CÁLCULOS Y RESULTADOS	12-5
12.4.	CONCLUSIONES	12-8
12.5.	BIBLIOGRAFÍA	12-8
13	**INTERFERENCIAS Y EXPROPIACIONES**	**13-1**
13.1.	INTERFERENCIAS	13-1
13.1.1.	Modificación Ruta A-319	13-1
13.1.2.	Cubicaciones y Presupuesto de Camino	13-2
13.2.	EXPROPIACIONES	13-2
13.2.1.	Tenencia de la Tierra en Zonas de Expropiación	13-2
13.2.2.	Costo de Expropiación	13-5
14	**ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL**	**14-1**
14.1.	INTRODUCCIÓN	14-1
14.2.	OBJETIVO Y ALCANCE DEL EAA	14-1
14.2.1.	Objetivo General	14-1
14.3.	CONTENIDO DEL EAA	14-1
14.4.	RESULTADOS PRINCIPALES DEL ESTUDIO	14-2
14.4.1.	Análisis de Pertinencia de Ingreso al SEIA	14-2
14.4.2.	Evaluación de Impactos Ambientales	14-2

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

ACÁPITE	CONTENIDO	NÚMERO
14.4.3.	Costos Ambientales Asociados al Proyecto	14-4
14.4.4.	Estudios Recomendados para Etapas Posteriores	14-4
14.4.5.	Conclusiones	14-5
15	**EVALUACIÓN ECONÓMICA**	**15-1**
15.1.	INTRODUCCIÓN	15-1
15.2.	INDICADORES DE RENTABILIDAD	15-1
15.3.	MÉTODOS DE EVALUACIÓN	15-2
15.4.	ESCENARIOS DE EVALUACIÓN	15-3
15.5.	TAMAÑOS DE EMBALSE A EVALUAR	15-3
15.6.	COSTOS	15-4
15.6.1.	Introducción	15-4
15.6.2.	Costo de las Obras de Riego	15-5
15.6.3.	Costos Conducción Tramo Ofragía - Chaca	15-5
15.6.4.	Costos de Operación y Mantenimiento	15-6
15.6.5.	Costos Bombeo en el Sector de Chaca	15-7
15.6.6.	Costos de Variante de Camino	15-8
15.6.7.	Expropiaciones	15-8
15.6.8.	Costos Ambientales	15-9
15.7.	BENEFICIOS	15-10
15.7.1.	Generalidades	15-10
15.7.2.	Beneficios Derivados del Riego	15-10
15.7.3.	Beneficios por Suministro de Agua Potable	15-31
15.7.4.	Beneficios por Generación Hidroeléctrica	15-32
15.7.5.	Beneficios por Control de Crecidas (Daño Evitado)	15-33
15.7.6.	Beneficio Asociado el Valor Incremental de la Tierra	15-34
15.7.7.	Beneficio Asociado a las Transacciones de los Derechos de Aguas	15-35
15.8.	RESULTADOS	15-36
15.9.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	15-39
15.10.	Momento Óptimo de la Inversión	15-41
15.11.	INDICADORES ADICIONALES	15-42
15.11.1.	Balance de Mano de Obra	15-42
15.11.2.	Rentabilidad por Hectárea Regada	15-44
15.11.3.	Ingreso Per Cápita Asignable al Sector Agropecuario	15-44
15.11.4.	Generación de Impuestos	15-45
15.12.	EXTERNALIDADES	15-45
15.13.	Recomendación del Proyecto	15-46

ACÁPITE	CONTENIDO	NÚMERO
16	ANÁLISIS FINANCIERO	16-1
17	PARTICIPACIÓN CIUDADANA	17-1
18	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES	18-1

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO 3-1 GRANULOMETRÍA
ANEXO 4-1 RELLENO PRECIPITACIÓN
ANEXO 4-2 PRECIPITACIÓN MENSUAL UMIRPA
ANEXO 4-3 PRECIPITACIONES MAXIMAS UMIRPA
ANEXO 4-4 HEC CURVA DESCARGA
ANEXO 4-5 GR1A MODIFICADO UMIRPA
ANEXO 4-6 ESCORRENTIA DIRECTA
ANEXO 4-7 SERIE CAUDALES
ANEXO 4-8 ESCALAMIENTO UMIRPA
ANEXO 4-9 HUS UMIRPA
ANEXO 4-10 VOLUMEN MUERTO UMIRPA
ANEXO 4-11 HEC-RAS EST. FLU
ANEXO 4-12 ESTRATIGRAFÍA SONDAJES
ANEXO 4-13 ENSAYOS EN TERRENO
ANEXO 4-14 REGISTRO PETROGRÁFICO
ANEXO 4-15 FOTOS CAJAS
ANEXO 4-16 REGISTRO DE PERFORACIONES
ANEXO 4-17 COMPRESIÓN Y DENSIDAD EN TESTIGOS DE ROCA
ANEXO 4-18 ESTRATIGRAFÍA CALICATAS
ANEXO 4-19 REGISTRO FOTOGRÁFICO CALICATAS
ANEXO 4-20 RESULTADOS ENSAYOS EN LABORATORIO
ANEXO 4-21 PERFILES DE REFRACCIÓN SÍSMICA
ANEXO 5-1 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR
ANEXO 5-2 CARACTERIZACIÓN ACUÍFERO CHACA

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

ANEXO 5-3 MODELO PRELIMINAR
ANEXO 5-4 INFRAESTRUCTURA DE RIEGO
ANEXO 5-5 CAPACIDADES MÁXIMAS POR TRAMO DE CANAL
ANEXO 5-6 MINUTA TÉCNICA DGA
ANEXO 5-7 CÁLCULOS DE CAUDALES POR CANAL
ANEXO 5-8 DISEÑOS BÁSICOS
ANEXO 5-9 VOLUMEN MUERTO
ANEXO 5-10 CONDUCCIÓN OFRAGÍA – CHACA
ANEXO 5-11 MEJORAMIENTOS DE CANALES
ANEXO 5-12 PU Y PRESUPUESTOS
ANEXO 5-13 CÁLCULOS DE EVAPORACIONES EMBALSE
ANEXO 6-1 VOLUMEN MUERTO UMIRPA
ANEXO 6-2 GSF
ANEXO 6-3 HECRAS
ANEXO 6-4 ESTIMACIÓN RUGOSIDAD
ANEXO 6-5 MANNING CAUCES NATURALES USGS
ANEXO 6-6 CRECIDAS QUEBRADAS LATERALES
ANEXO 9-1 SIMULACIONES MODELO
ANEXO 10-1 COMPRESIÓN Y DENSIDAD EN TESTIGOS DE ROCA
ANEXO 10-2 DISEÑOS HIDRÁULICOS PRELIMINARES EMBALSE
ANEXO 10-3 DISEÑO HIDRÁULICO CANALES
ANEXO 10-4 CONDUCCIÓN OFRAGÍA-CHACA
ANEXO 10-5 DISEÑO OBRAS TIPO
ANEXO 10-6 PRESUPUESTO
ANEXO 11-1 ALTERNATIVAS DE NEGOCIO HIDROGENERACIÓN
ANEXO 12-1 EFECTO REGULADOR DE CRECIDAS
ANEXO 15-1 COSTOS DE INVERSIÓN
ANEXO 15-2 EXPROPIACIONES
ANEXO 15-3 CONTROL DE CRECIDAS
ANEXO 15-4 MCH
ANEXO 15-5 EVALUACIÓN ECONÓMICA
ANEXO 16-1 EVALUACIÓN FINANCIERA UMIRPA

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente resumen ejecutivo se refiere al estudio de prefactibilidad denominado "CONSTRUCCIÓN EMBALSE UMIRPA PARA REGADÍO EN CUENCA VÍTOR REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA" de la COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO del Ministerio de Agricultura.

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 llamó a la presente licitación.

El embalse Umirpa es una obra de regulación de los recursos hídricos de la quebrada Vítor, que tendrá como primera finalidad mejorar las condiciones del riego existente y como objetivo secundario, suplir demandas de agua para consumo doméstico. Asociado a la obra de embalse, se analizó también la red de conducción y distribución, que asegure el traslado del agua desde el embalse a los predios.

La quebrada Vítor, denominada también Codpa en los sectores precordilleranos, nace en la Cordillera Central a una altura de 4.300 m.s.n.m. Su hoya hidrográfica queda comprendida entre las cuencas del río Tignamar y quebrada de Acha por el norte, y la cuenca del río Ajatama por el sur.

La situación de escasez de recursos hídricos queda representada por las siguientes cifras: existen en el valle unas 700 ha con aptitud agrícola, pero el riego se limita a unas 250 ha (año 2001-2002), que se concentran mayormente en el sector de Codpa (100 ha) y en la zona de Chaca-Caleta Vítor (150 ha). Esta última zona se riega principalmente con agua subterránea, ya que sólo en años excepcionales recibe agua por la quebrada, cuando hay importantes precipitaciones en el altiplano.

Por tanto, se pretende definir alternativas de mejoramiento del riego, en la zona de la quebrada Vítor que considere una obra de embalse para riego y el mejoramiento y/o diseño de las redes de conducción y distribución que permitan transportar el agua del embalse, pudiéndose aprovechar los recursos para los sectores agrícolas, aumentando así la superficie de riego y potenciando la agricultura de la comuna. Se espera además un análisis del potencial de generación hidroeléctrica que pudiera obtenerse de este embalse. El número de beneficiarios del embalse podría llegar hasta 1.000 regantes.

1.2. IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La cuenca de la quebrada Vítor carece prácticamente de hoya nival. Sus recursos hídricos son muy limitados la mayor parte del año, pero aumentan en los meses de enero a marzo por efecto de las precipitaciones del invierno altiplánico. Los caudales de la quebrada son medidos en la estación de Codpa en Cala Cala, ubicada en la cota 1.745 m.s.n.m., que

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

cuenta con estadística desde el año 1982 hasta la fecha. El caudal medio anual registrado en dicha estación es del orden de 0,15 m^3/s.

De un total de 772,4 ha con aptitud agrícola en todo el valle, sólo 245,9 ha son regadas, concentradas principalmente en la zona de Codpa y en la zona de Chaca-CaletaVítor. El Cuadro 1.2-1 muestra el resumen de las superficies por sector.

CUADRO 1.2-1
SUPERFICIE DE RIEGO EN ÁREA DE ESTUDIO (ha)

Sector	Valle de Chaca y Caleta Vítor	Codpa	Total
Superficies con aptitud agrícola	669,1	103,3	772,4
Superficie regada	148,9	97,0	245,9

Fuente: Elaboración propia a partir de REG-DOH (2002)

La presente consultoría busca definir alternativas de mejoramiento que consideren una obra de embalse para riego y el mejoramiento y/o el diseño de las redes de conducción y distribución que permitan transportar el agua del embalse, pudiéndose aprovechar los recursos para aumentar la superficie de riego y potenciar la agricultura de la comuna.

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Proponer y evaluar alternativas de mejoramiento para el sistema de riego de la Quebrada de Vítor, Región de Arica y Parinacota, a través de un embalse que tenga uso múltiple (de riego, y generación hidroeléctrica) y el mejoramiento de la red de conducción y distribución de agua, asociada a la zona beneficiada por el futuro embalse, y como objetivo secundario, suplir demandas de agua para consumo doméstico.

Los servicios solicitados corresponden al desarrollo completo de los estudios de prefactibilidad del proyecto del embalse Umirpa y su red de canales asociada, considerando esta obra como de uso múltiple, para riego y uso doméstico. Los estudios incluyen trabajos de terreno en ámbitos agronómico, civil, ambiental y de participación ciudadana, para asegurar que las proposiciones de proyecto que se planteen se basen en una fiel representación de las condiciones reales existentes y consideren los conocimientos y aspiraciones de los interesados. Los objetivos principales de la consultoría son:

- Seleccionar el mejor emplazamiento para la presa del embalse Umirpa y sus obras anexas, y desarrollar sus diseños a nivel preliminar.
- Analizar la situación de los recursos hídricos de la cuenca, identificando los derechos de agua que se hayan concedido, los que estén sin regularizar, así como aquellos recursos excedentes que pudieran ser regulados, embalsados y/o encauzados.
- Obtener un compromiso con las organizaciones de regantes, de inicio del trámite de regularización y/o perfeccionamiento de sus derechos de aguas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

- Definir el trazado de los canales necesarios y elaborar sus diseños preliminares, para zonas de nuevo riego.
- Evaluar alternativas de mejoramiento de los canales de la red existente y diseñar a nivel de prefactibilidad la alternativa elegida.
- Plantear diversos escenarios de proyecto, considerando distintos usos del embalse, y caracterizarlos con estudios de ingeniería, agronomía y ambientales a nivel de prefactibilidad.
- Realizar el anteproyecto de ingeniería del aforo remoto de caudales en los canales.
- Estudiar la operación del sistema riego-uso doméstico-generación y optimizarla.
- Determinar los beneficios y costos para cada escenario de proyecto.
- Precisar los impactos ambientales, las medidas de mitigación y sus costos.
- Analizar y proponer alternativas de financiamiento para los proyectos de hidrogeneración, así como el Modelo de Negocios y Operación.
- Desarrollar un Programa de Participación Ciudadana.
- Evaluar económicamente las alternativas planteadas y recomendar la más conveniente.

1.4. CONTENIDO DEL INFORME FINAL

Los contenidos del informe final son los siguientes:

- **Capítulo 1:** Introducción y Objetivos
- **Capítulo 2:** Área de Estudio
- **Capítulo 3:** Recopilación de Antecedentes
- **Capítulo 4:** Cartografía, Topografía, Prospecciones e Hidrología Sitios de Embalse
- **Capítulo 5:** Reconocimiento y Evaluación de Emplazamientos para la Presa
- **Capítulo 6:** Estudios Básicos Sitio Seleccionado
- **Capítulo 7:** Estudios Agroeconómicos
- **Capítulo 8:** Escenarios de Proyecto
- **Capítulo 9:** Modelo de Simulación Simplificado del Sistema de Riego Quebrada de Vítor
- **Capítulo 10:** Diseños Preliminares
- **Capítulo 11:** Alternativas de Negocio de Hidrogeneración

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Capítulo 12:** Análisis del Efecto Regulador de Crecidas del Embalse
- **Capítulo 13:** Interferencias y Expropiaciones
- **Capítulo 14:** Estudio de Análisis Ambiental
- **Capítulo 15:** Evaluación Económica
- **Capítulo 16:** Análisis Financiero
- **Capítulo 17:** Participación Ciudadana
- **Capítulo 18:** Conclusiones

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

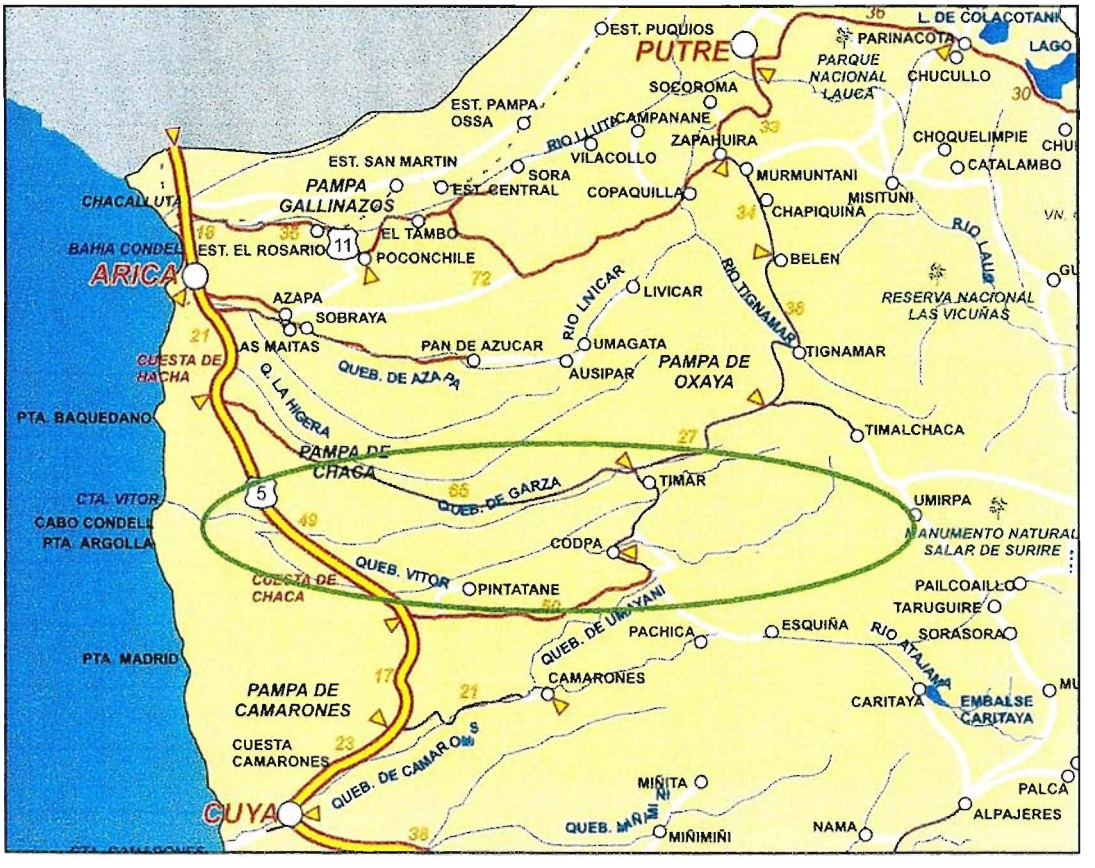
2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE PROYECTO

El área de estudio se encuentra inserta en la Quebrada de Vítor o Chaca, la que en el sector precordillerano recibe el nombre de Valle de Codpa, que nace en la Cordillera Central a una altura de 4.300 m.s.n.m., tal como se muestra en la Figura 2.1-1, en la Región de Arica y Parinacota, en la Comuna de Camarones.

La hoya de la quebrada de Vítor se desarrolla en el sector central de la provincia de Arica, entre los paralelos S 18°40' y 18°53' y entre los meridianos O 69°17' y 70°22', comprendiendo una superficie de 1.660 km^2. Limita al norte con la hoya del río San José de Azapa, al sur con la hoya del río Camarones, de la cual queda separada principalmente por la pampa Camarones; al oriente limita con la hoya alta del río Quiburcanca, afluente del Lauca y, en cierto sector, con la depresión sin desagüe del Salar de Surire.

FIGURA 2.1-1
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO



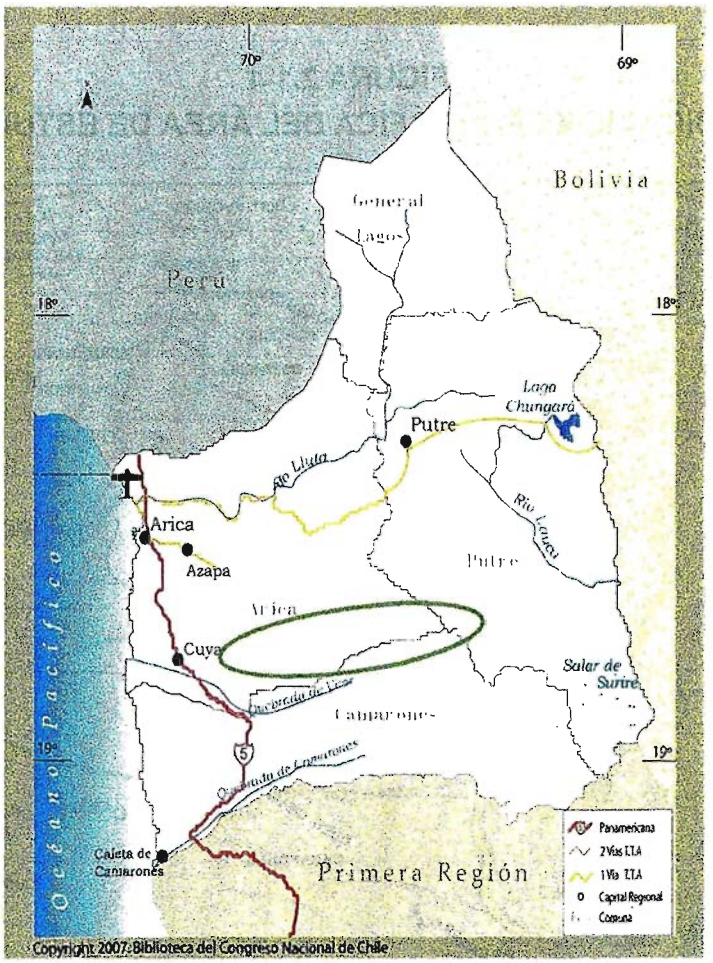
Fuente: www.orplan.cl

2.2. ANTECEDENTES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.2.1. Estructura Político – Administrativa

La Figura 2.2.1-1 muestra la comuna de Camarones en el contexto político-administrativo en que se encuentra. El área de estudio se encuentra inserta en la comuna de Camarones, ubicada en el extremo sur de la provincia de Arica y la región de Arica y Parinacota. Al norte limita con la comuna de Arica, al sur con las comunas de Huara, Camiña y Colchane (Región de Tarapacá), al este con la comuna de Putre y al oeste con el océano Pacífico. Abarca una superficie de 3.712 km^2 que equivalen al 42,54% del territorio provincial y al 21,97% de la superficie regional.

FIGURA 2.2.1-1
CONTEXTO POLÍTICO-ADMINISTRATIVO
COMUNA DE CAMARONES



Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional (2007)

La comuna se creó el 30 de diciembre de 1927 como Codpa, modificando sus límites y obteniendo su actual nombre en 1979 por el DL Nº 2868 de 26-10-1979.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

La cabecera comunal es la localidad (caserío) de Cuya, en el cual se encuentra el municipio. No obstante el principal centro de asentamiento es Codpa.

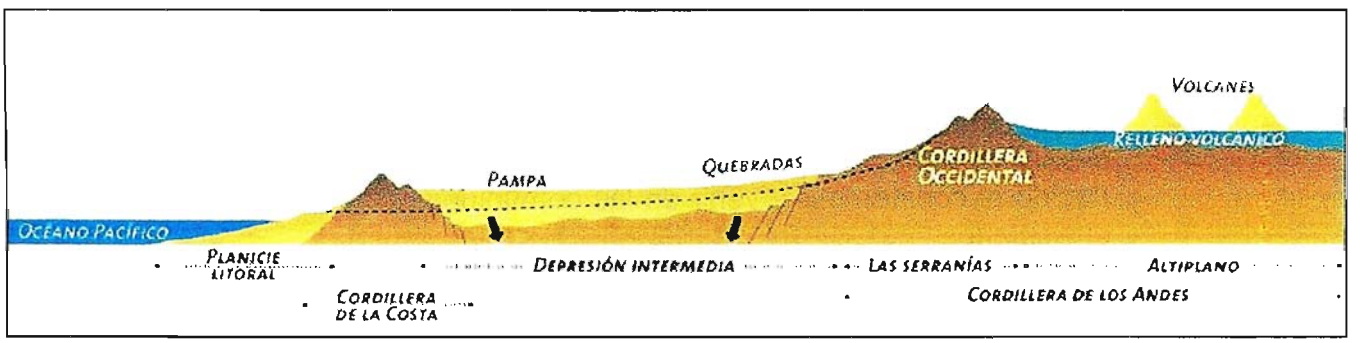
Integra, junto con las comunas de Arica, Putre, y General Lagos, el Distrito Electoral Nº 1 y la 1ª Circunscripción Senatorial.

2.2.2. Características Físicas

2.2.2.1. Relieve Comunal y Principales Unidades Geomorfológicas

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 2.2.2.1-1 muestra las principales formación que se pueden encontrar en la zona.

FIGURA 2.2.2.1-1
PERFIL DEL RELIEVE COMUNAL DE CAMARONES



Fuente: Turistel (2003)

En lo que sigue se describen los diferentes elementos mostrados en la Figura 2.2.2.1-1:

- **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 las desembocaduras de los Ríos Camarones y Vítor, gracias a la depositación de material sedimentario y en el sector de la ciudad de Arica las planicies litorales se pueden observar a partir del sector norte (playa Las Machas) hacia el Norte.
- **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

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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.

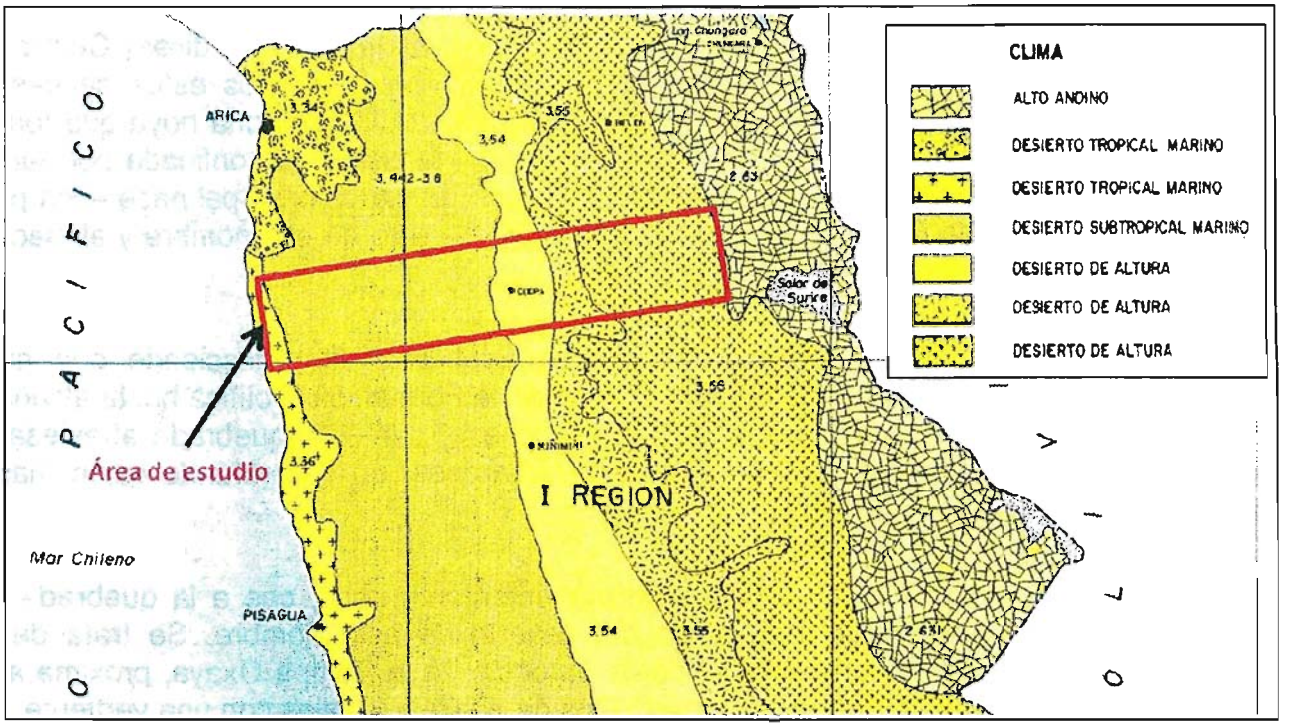
- **Llano Central, Depresión Intermedia o Pampitas:** Se desarrolla entre cordilleras de la Costa y Los Andes. Con una altura de 1.000 m.s.n.m. en promedio y suave pendiente de este a oeste, fue originada por hundimientos de la corteza y rellenada por erosión desde los Andes hasta formar la Pampa de 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.

2.2.2.2. Clima y Meteorología

Según INIA (1989), el clima presente en la Región de Arica y Parinacota, corresponde a aquel denominado "Clima Desértico", el cual a su vez se divide en 3 sub climas: Desértico Tropical Marino, Desértico Subtropical Marino y Desierto de Altura, según se muestra en la Figura 2.2.2.2-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 2.2.2.2-1
CLIMAS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: INIA, 1989

La descripción de los climas es la siguiente:

- **Desértico Tropical Marino**: Se extiende por la costa norte, desde la frontera con el Perú hasta Taltal, con un ancho de 25 a 30 km. Las condiciones hacia el interior van variando paulatinamente a medida que se aleja del mar. La temperatura media mínima del mes más frío es de 7°C, mientras que la media máxima delos6 meses más cálidos es de 25°C. El régimen hídrico es desierto absoluto (todo el año es seco).
- **Desértico Subtropical Marino**: Se extiende a continuación del anterior hacia la cordillera. Se diferencia del anterior por la presencia de heladas leves y ocasionales. Temperatura media mínima del mes más frío está entre -2,5°C y 7°C. La media máxima de los 6 meses más cálidos es de 21°C. El régimen hídrico es desierto absoluto (todo el año es seco).
- **Desértico de Altura**: Ocupa los sectores precordilleranos desde la frontera con Perú hasta la región de Atacama (inclusive). En invierno se presentan heladas de variada intensidad y las oscilaciones térmicas son mayores que en los subclimas anteriores. La temperatura media mínima del mes más frío fluctúa entre los -2,9 y los 5,5°C. La temperatura meda máxima del mes más cálido varía entre los 10 y 28,4°C dependiendo de la altitud. Las precipitaciones varían entre 12 y 256 mm dependiendo de la altitud y se concentran principalmente en los meses de verano.

2.2.2.3. Hidrografía y Recursos Hídricos

El río Codpa tiene una longitud de 110 km y nace de la reunión de varios esteros que se originan en los faldeos ponientes de los volcanes apagados Orcutunco (5.000 m.s.n.m.) y Anocarire (5.050 m.s.n.m.), que forman parte de la cordillera Central, y desde el faldeo sureste del Cerro Marqués (4.960 m.s.n.m.). De todos estos cauces el principal es el estero Umirpa. Este drena hacia la garganta de Umirpa una hoya que forma una altiplanicie la cual está elevada sobre 3.700 m.s.n.m., la cual está confinada por varios macizos con cumbres entre 4.000 y 5.000 m de elevación. El cauce principal nace a los pies del portezuelo Orcutunco (4.470 m.s.n.m.), situado entre el cerro de ese nombre y el macizo de Anocarire.

A partir de Umirpa (3.920 m.s.n.m.), la quebrada Vítor desciende con gran pendiente por un estrecho cajón cordillerano labrado en la Formación Riolítica hasta alcanzar el pueblo de Codpa, en la precordillera. Sobrepasado este punto, la quebrada atraviesa la altiplanicie formada por las pampas de Chaca y Camarones, en un profundo cajón, hasta vaciarse en el mar en Caleta Vítor.

Un importante tributario, aunque permanentemente seco, cae a la quebrada de Chaca por la ribera norte poco más abajo del caserío de este nombre. Se trata de la quebrada de Carza o Garza que nace del borde suroeste de la Pampa Oxaya, próxima a la localidad de Timar, donde se riegan unos cuartelitos de alfalfa y frutales con una vertiente. La quebrada tiene, en partes, un cauce profundo, y un desarrollo de 38 km.

Otros tributarios casi secos de quebrada Codpa son la quebrada de Apanza que se origina en el Cerro Yulupalca y cae cerca de Cachicoca; la quebrada del Diablo que se junta por la ribera sur a 2 a 3 km aguas arriba de la localidad de Pintatane y nace en los altos de Chacaya.

Según los Estudios Agronómicos Básicos de los Valles Lluta, Azapa, Vítor y Camarones (DOH, 2002), las fuentes de agua del valle de Vítor son dos, las provenientes de la mencionada Quebrada de Vítor, para el sector precordillerano o Codpa y las aguas subterráneas extraídas de los pozos en los sectores de Chaca y caleta Vítor. Ambos recursos son pobres y solo permiten una agricultura de poca extensión espacial.

En el informe del Geólogo George C. Taylor (US Geological Survey, 1947), sobre la quebrada de Vítor se mencionan algunos datos de caudal aguas arriba de Codpa, datos medidos por la Dirección de Riego en 1945. Este dice: "En la estación de avenidas, Enero-Abril, el escurrimiento medio es mayor a 300 L/s. De Mayo a Agosto es de 200 a 250 L/s. De Septiembre a Octubre el flujo baja gradualmente desde 130 a 40 L/s y en Diciembre llega apenas a 20 L/s".

Según el Informe N°2 Regadío de Codpa. N. Rojas. (Dirección de Riego, 1969), la calidad del agua del río Vítor en el sector de Codpa para el riego es aceptable bajo las normas internacionales pero muy buenas respecto del agua de los demás ríos y quebradas del norte grande.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Según estos estudios la calidad del agua no sería una limitante para el desarrollo de la agricultura, lo que podría permitir una gran diversidad de cultivos y variedades de acuerdo al clima de la zona, siendo una verdadera limitación la disponibilidad del recurso hídrico.

2.2.2.4. Capacidad de Uso de Suelo

En términos generales, los suelos del valle de Vítor pueden diferenciarse en 2 sectores principales, la zona de Chaca-Caleta Vítor y Codpa. El primero corresponde a la zona baja del valle aproximadamente desde el cruce con la ruta Panamericana hasta la costa y el segundo corresponde a la zona precordillerana (REG-DOH, 2002).

En sector de Codpa, los suelos corresponden a suelos antrópicos (hechos por el hombre). Son terrazas construidas en las distintas propiedades, delimitadas y sostenidas por pircas de piedra y rellenadas con material de suelo (REG-DOH, 2002).

Por su parte, los suelos del sector Chaca-Caleta Vítor se dan en un ensanchamiento significativo del valle, formando una extensión plana que ha sido calificada desde tiempos remotos como de excelente calidad agrícola. Corresponden en su mayoría a suelos de origen aluvial. Respecto de las clases de capacidad de uso, éstas son:

- Codpa: Clase II. Suelo con algunas limitaciones menores.
- Chaca-Caleta Vítor: Varían entre las Clases II a VIII (suelos con limitaciones menores a suelo sin valor productivo.)(REG-DOH, 2002).

Una descripción más detallada de los suelos y sus propiedades se presenta en el Capítulo 6.

2.2.3. Antecedentes Demográficos y Socioeconómicos

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

2.2.3.1. Caracterización General

Según los resultados del Censo de Población y Vivienda de 2002, la población de la comuna alcanza los 1.220 habitantes, lo que corresponde al 0,65% de la provincia de Arica y 0,64% de la región de Arica y Parinacota. La densidad poblacional es 0,37 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 2.2.3.1-1).

CUADRO 2.2.3.1-1
POBLACIÓN URBANO – RURAL

Tipo de Población	Región de Arica y Parinacota		Comuna de Camarones	
	Nº	%	Nº	%
Urbano	176.676	93,2	0	0,0
Rural	12.968	6,8	1.220	100,0
Total	189.644	100,0	1.220	100,0

Fuente: Censo 2002 (INE)

Por otra parte, los hombres representan el 61,1% del total de habitantes de la comuna, porcentaje que es más alto que a nivel regional (Cuadro 2.2.3.1-2).

CUADRO 2.2.3.1-2
DISTRIBUCIÓN POBLACIÓN SEGÚN SEXO

Tipo de Población	Región de Arica y Parinacota		Comuna de Camarones	
	Nº	%	Nº	%
Hombres	94.593	49,9	745	61,1
Mujeres	95.051	50,1	475	38,9
Total	189.644	100,0	1.220	100,0

Fuente: Censo 2002 (INE)

La comuna de Camarones para el Censo de 2002 constaba con 5 distritos censales: Cuya en la costa, Codpa, Camarones y Esquiña subiendo por el valle, y finalmente, Caritaya en la parte alta (Cuadro 2.2.3.1-3). A partir de la información del censo se concluye que en la comuna no existen ciudades, pueblos ni aldeas, restringiéndose los asentamientos a caseríos y e inmuebles dispersos. Tal como se dijo anteriormente, el caserío más numeroso es Codpa.

CUADRO 2.2.3.1-3
DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL
SEGÚN DISTRITO Y ZONA URBANA O RURAL

Distrito Censal	Nº Habitantes
Codpa	653
Caritaya	94
Esquiña	128
Camarones	203
Cuya	142

Fuente: Censo 2002 (INE)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 2.2.3.1-4
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR CASERÍOS

Caseríos	Población Censo 2002		
	Total	Hombre	Mujer
Cobija	18	10	8
Cerro Blanco	7	5	2
Chitita*	30	18	12
Codpa*	159	87	72
Guañacagua*	64	35	29
Guatanave*	33	17	16
Marquirave	12	6	6
Poroma*	2	1	1
Timar*	17	9	8
Umirpa*	14	7	7
Mulluri	43	21	22
Parcohaylla	35	22	13
Cerro Blanco	8	4	4
Esquiña	51	31	20
Illapata	46	24	22
Saguara	8	5	3
Sucuna*	7	4	3
Camarones	46	24	22
Cochiza	11	8	3
Maquita	21	12	9
Pachica	10	5	5
Taltape	28	16	12
Caleta Camarones	44	25	19
Cuya	64	34	30

*Caseríos ubicados en la quebrada de Vítor

Fuente: Censo 2002 (INE)

2.2.3.2. Evolución Poblacional

En cuanto al ritmo de evolución de la población de la comuna, a partir de la información contenida en los sucesivos Censos INE de los años 1952, 1970, 1982, 1992, y 2002 (Cuadro 2.2.3.2-1), se puede inferir que en 1952 la comuna de Camarones presenta una población incluso mayor a la mostrada en el censo de 2002, decreciendo sin embargo, hasta llegar a su punto más bajo a partir del censo de 1982. Según el PLADECO de Camarones para el periodo 2008-2012. Este fenómeno podría explicarse a partir del cierre definitivo de las empresas de pequeña y mediana minería que operaban en la zona, a mediados de la década de 1970, terminando con un ciclo productivo de alto impacto en la población comunal. Cerrada la actividad minera por parte del gobierno militar, la nueva administración optó por ceder esos terrenos al ejército. Luego de este periodo el Ministerio de Bienes Nacionales ha ido entregando paulatinamente terrenos a los habitantes que actualmente viven en la comuna.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Entre el periodo 1992-2002, el aumento de la población en 43,87%, muy por encima del promedio nacional (13,25%) y de la región (8,92%), puede suponer a procesos migratorios desde comunas aledañas, como a aumentos en las tasas de fecundidad.

CUADRO 2.2.3.2-1
EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN ENTRE LOS AÑOS 1952-2002

Unidad Político Administrativa	1952	1960	1970	1982	1992	2002
Comuna de Camarones	1.314	1.207	1.108	731	848	1.220
Ex Región de Tarapacá	30.307	51.947	96.095	152.187	174.119	189.644

Fuente: Censos 1952, 1970, 1982, 1992 y 2002 (INE)

2.2.3.3. Representación de Grupos Étnicos

La configuración cultural de la comuna de Camarones se basa en una confluencia originaria de a lo menos tres culturas que están representadas por el pueblo aymara, afro dependientes y los comúnmente llamados "criollos", provenientes del tronco español fundante del país.

La población aymara mantiene una significativa representación dentro de la comuna, y se encuentra localizada en todo el territorio comunal, definidos como comunidades indígenas. Según el censo de 2002 la población indígena representa el 61,56% de la población, es decir 751 personas, de las cuales 733 son aymaras.

Según los registros de la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena, en Camarones existen 136 familias de origen aymara, cifra que representa un 0,48% del total de población provincial, lo que la ubica en tercer lugar, después de Putre y General Lagos, respecto de la importancia numérica de la población indígena.

2.2.3.4. Proyección de la Población

El Cuadro 2.2.3.4-1 muestra la proyección de la población hasta el año 2012 a partir de las tasas de crecimiento para hombres y mujeres estimadas por el INE en el año 2002. La característica más importante es el continuo aumento de la población aunque con tasas oscilantes. Por otra parte, existe un mayor crecimiento de la población femenina que masculina.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 2.2.3.4-1
PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN HASTA EL AÑO 2012

Año	Total comuna		Hombres		Mujeres	
	N°	% Crecimiento	N°	% Crecimiento	N°	% Crecimiento
2002	1.220	3,05%	745	2,33%	475	4,16%
2003	1.254	2,81%	761	2,15%	493	3,80%
2004	1.283	2,29%	773	1,61%	510	3,30%
2005	1.315	2,53%	789	2,07%	526	3,19%
2006	1.363	3,59%	812	2,86%	551	4,64%
2007	1.397	2,52%	825	1,62%	572	3,78%
2008	1.439	2,98%	849	2,85%	590	3,16%
2009	1.475	2,51%	865	1,89%	610	3,37%
2010	1.516	2,83%	883	2,07%	634	3,86%
2011	1.562	2,99%	903	2,35%	659	3,86%
2012	1.599	2,37%	923	2,19%	676	2,61%

Fuente: Elaboración propia a partir de tasas de crecimiento de INE (2002)

2.2.3.5. Condición de Pobreza y Desarrollo Humano

En el período 1998-2006 la pobreza ha disminuido considerablemente dentro de la comuna, esto según las distintas aplicaciones de la encuesta Casen (Cuadro 2.2.3.5-1).

CUADRO 2.2.3.5-1
PROPORCIÓN DE POBRES EN LA COMUNA DE CAMARONES

Año	Población Pobres (%)	
	Indigentes	Total
1998	14,0	27,7
2000	12,7	24,2
2003	3,5	10,5
2006	1,1	3,6

Fuente: Encuesta CASEN (2006)

En cuanto a la indigencia los índices muestran que el 1,1% de la población cabe dentro de esta categoría, el cual está muy por debajo del promedio provincial, el que alcanza un 5,3% y, muy dispar al regional que gira en torno al 4,2%.

Según el PLADECO 2008-2012 los sectores más afectados por situaciones de pobreza corresponden al sector de caleta Camarones.

De acuerdo al Índice de Desarrollo Humano elaborado por el PNUD (2004) para nuestro país, la comuna se ubica en el lugar 216 entre 333 comunas distinguidas en el estudio, con un valor de índice de 0,665. El valor de índice ubica a la comuna en la categoría BAJO respecto del nivel de logro relativo de Desarrollo Humano (en una escala de quintiles identificados como Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto, de acuerdo al nivel de logro).

2.2.3.6. Principales Actividades Económicas

a) Actividad Agropecuaria

La producción agrícola de la comuna se subdivide en frutícola y hortícola. La mayor concentración de la producción de este tipo de productos se encuentra en el valle de Codpa, las cuales son regadas por las aguas dulces del río Codpa provenientes de la zona de Umirpa. A su vez la mayor producción hortícola se produce en la quebrada de Camarones y son regadas con las aguas salobres del río Camarones originarias del tranque Caritaya y por vertientes de agua dulce.

En general los predios son de dimensiones pequeñas y la distribución de los productos dentro de estos es desordenada. El valle tiene un ancho promedio de 100 m y una longitud de 18 km el cual continúa posteriormente hasta Caleta Vítor. La agricultura también se distribuye en algunos sectores de la quebrada de Camarones que tiene una longitud de 20 km y un total de 499 ha de suelos agrícolas y 2.592 ha de suelo no arables, el sector de Huancarane - Esquiña tiene 90 ha de suelos agrícolas.

Uno de los principales problemas que afecta la producción de este valle tiene relación con la insuficiencia del recurso hídrico, el cual se agrava por su aumento en el periodo de las sequías, la falta de infraestructura de riego y la inadecuada distribución y administración de las aguas del río Codpa entre los regantes del valle.

Según la Ilustre Municipalidad de Camarones este valle es principalmente frutícola, más del 20% del suelo agrícola se destina a la producción de uva vinífera. Sin embargo, algunos estudios indican que el vino que se produce en el valle de Codpa, a lo largo de éste, presenta diferentes características lo que limita su potencial de comercialización y, por lo tanto, se debe destinar mayoritariamente al autoconsumo.

Las principales producciones de este valle corresponden a los cítricos, los cuales se encuentran en todo el valle, ocupando un total del 30,2% del suelo agrícola, y su producción se extiende durante todo el año. Los membrilleros ocupan el 12,2% del suelo a lo largo de todo el valle, y se producen desde Noviembre a Marzo. Los perales también son un cultivo tradicional importante en este valle, alcanzan el 7,3% del uso del suelo, principalmente en la zona alta del valle comprendido entre el sector de Palca y Guañacagua.

Los paltos son un cultivo que se ha introducido en los últimos años al valle con bastante éxito, y aunque ocupa el 6,4% del uso del suelo del valle, aún no es importante en cuanto a volúmenes de producción. El cultivo de la vid, en cambio, ocupa el 25,3% del uso del suelo agrícola total del valle, aunque su mayor cultivo se observa en el sector bajo del valle, desde Guatanave hasta Ofragía. El período de producción se presenta entre Marzo y Mayo.

El sector ganadero se concentra a lo largo de la quebrada de Camarones. Posee una longitud de 20 km y el ancho de la quebrada es mucho mayor que el de Codpa,

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

aproximadamente unos 200 m. Según información del Censo 2007 la masa ganadera de la comuna corresponde mayoritariamente a ganado ovino, seguido de camélidos y caprinos.

Respecto a actividad agroindustrial, en el valle de Camarones se ubican instalaciones de la "Hacienda Camarones" propiedad de avícola Ariztía donde se produce crianza de las aves, que corresponden a la empresa exportadora del mismo nombre. Por otro lado, la industria artesanal corresponde a la elaboración de mermelada de distintas frutas (guayaba, naranja, membrillo), vino pintatani, en la localidad de Codpa y quesos de diversos animales de pastoreo (vaca, cabra, etc.) en la localidad de Camarones. Los productos se presentan con un escaso valor agregado y la materia prima constituye el 90%.

b) Pesca

Las actividades del subsector pesquero, se realizan en la desembocadura del valle de Camarones (Caleta de Camarones), en esta actividad, de carácter artesanal, participa toda la familia ya que el hombre es el encargado de extraer el producto y comercializarlo, la mujer se encarga de preparar los implementos que este necesite para cumplir su labor. La producción extraída es almacenada en una congeladora para luego trasladarlos, vía marítima o terrestre, y comercializarlos mayoritariamente en la ciudad de Arica e Iquique en menor medida. Los principales competidores de éstos son: la Caleta de Pisagua y los pescadores artesanales de Iquique y Arica y a su vez, sus principales productos son: erizo, lapa, loco, pulpo, pejeperro, cabrilla, apañao, lenguado.

c) Minería

La Empresa Nacional de Minería se encuentra en avanzadas conversaciones con el Ejército para desafectar terrenos de la institución castrense en la zona de Pampa Camarones, a unos 50 km de Arica, para continuar avanzando en las exploraciones con vistas a levantar un proyecto mediano de cobre que dinamizaría la pequeña y mediana minería de la Región de Arica y Parinacota.

Según datos de ENAMI se ha estado explorando la zona desde hace más de una década y se ha invertido del orden los US$ 800.000. Los informes preliminares indican reservas para explorar unas 80.000 toneladas métricas mensuales, y que los datos obtenidos apuntan a la existencia de buenas leyes, en rangos de 2,2% a 3% de cobre soluble en una primera fase. Los datos apuntan a la posibilidad de levantar una planta de beneficio "que se convertiría en un nuevo poder comprador para ese sector de la actividad económica".

d) Turismo

La actividad turística en la comuna es de antigua data, sin embargo, la idea de Camarones como comuna turística es reciente. Durante la última década, el desarrollo del sector ha constituido una de las principales preocupaciones de la autoridad y de los actores locales, tales como organizaciones culturales, microempresarios, productores agrícolas, comunidades indígenas, etc., quienes han visto en el turismo una alternativa de negocios y, por ende, de desarrollo económico de la comuna.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En Camarones se desarrolla, principalmente, turismo de descanso, que gira en torno al uso de los atractivos naturales del valle de Codpa. Asimismo, se han incorporado o desarrollado otros atractivos, de manera de ampliar y diversificar la oferta turística. Entre esto se puede señalar los eventos culturales, especialmente el carnaval de Codpa y sus fiestas patronales.

Cabe destacar que la comuna cuenta con más atractivos y recursos turísticos, los que en el corto y mediano plazo, deben incorporarse a la oferta global, atractivos vinculados a los recursos naturales y paisajísticos de la comuna, a la cultura afro descendiente, atractivos relacionados con el sistema de vida rural y agrario de la comuna, a la presencia del pueblo aymara, historia local, toponimia, acervo cultural, etc.

Se han implementado acciones en el último tiempo con el objetivo de mejorar la oferta turística, tales como, medidas de conservación y mejoramiento de iglesias y casas patronales, proyectos vinculados a la cultura Aymara, conservación de sitios de interés arqueológico, mejoramiento y ampliación de la capacidad de hotelera, etc.

2.2.3.7. Empleo

Los resultados el Censo 2002 muestran que la fuerza de trabajo de la comuna de Camarones representa el 65,1% de la población mayor de 15 años. Este valor es mayor que la realidad regional, cuya tasa de participación es de 50,4%. Además, la tasa de desocupación es de 8%, muy por debajo del total de la región de Arica y Parinacota (17,6%). En el Cuadro 2.2.3.7-1 se resume la población según tipo y condición de actividad económica, además de estimar una proyección al año 2011 conservando las proporciones de las cifras del Censo 2002.

De acuerdo con la encuesta CASEN 2006, la fuerza de trabajo comunal (población económicamente activa) es de 75,1%, la más alta de la región de Arica y Parinacota, además de ser muy superior al valor regional, que la misma fuente cifra en 52,7%.

El 1,01% de la fuerza de trabajo se encuentra desocupada. Esta tasa de desocupación es muy inferior a las cifras provinciales y regionales que alcanzan, según el mismo instrumento, el 11,5% y el 10,4%, respectivamente.

Debido a que la población infantil aumenta de manera sostenida, la relación activos /inactivos, también está dando cuenta de un proceso paulatino de predominancia de la población infantil, que se traduce en una población joven con una alta vocación activa.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 2.2.3.7-1
POBLACIÓN SEGÚN TIPO Y CONDICIÓN DE ACTIVIDAD ECONÓMICA
COMUNA DE CAMARONES
CENSO 2002 Y PROYECCIÓN 2011

Tipo de Condición Económica		2002			2011		
		Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Población de 15 años o más		935	601	334	1.197	729	468
ECONÓMICAMENTE ACTIVA (FUERZA DE TRABAJO	Total	609	479	130	763	581	182
	Ocupados	560	442	118	701	536	165
	Cesantes	44	33	11	55	40	15
	Buscando trabajo por primera vez	5	4	1	6	5	1
NO ECONÓMICAMENTE ACTIVA (FUERA DE LA FUERZA DE TRABAJO)	Total	326	122	204	434	148	286
	En quehaceres de su hogar	156	13	143	216	16	201
	Estudiando	75	43	32	97	52	45
	Jubilado o rentista	45	33	12	57	40	17
	Incapacitado permanentemente para trabajar	8	5	3	10	6	4
	Otra situación	42	28	14	54	34	20
Tasa de Participación		65,1%	79,7%	38,9%	63,7%	79,7%	38,9%
Tasa de Ocupación		59,9%	73,5%	35,3%	58,6%	73,5%	35,3%
Tasa de Desocupación		8,0%	7,7%	9,2%	8,1%	7,7%	9,2%

Fuente: Elaboración propia a partir de Censo 2002

Respecto de la estructura productiva, el Censo 2002 destaca al sector agropecuario constituye la principal rama de actividad económica de la comuna, con el 39,1% del total de ocupados. El segundo lugar lo ocupa el sector de transporte, almacenamiento y telecomunicaciones, con un 20,0%. En el tercer lugar de importancia, se ubica el sector comercio con el 10,7% de la población ocupada (Cuadro 2.2.3.7-2).

En definitiva, desde la perspectiva de su estructura productiva y la población económicamente activa asociada, Camarones sigue siendo una comuna de economía rural. Dentro del sector silvoagropecuario, la rama de actividad más importante, desde la perspectiva de la población económicamente activa, es la actividad agropecuaria.

En relación al mercado laboral, éste se desarrolla en tres ámbitos principales que son: pastoreo, cultivo y pesca, estos ofrecen una variedad de funciones a la población.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.2.3.7-2
POBLACIÓN OCUPADA POR RAMA DE ACTIVIDAD ECONÓMICA
COMUNA DE CAMARONES
CENSO 2002 Y PROYECCIÓN 2011

Rama Actividad Económica	2002			2011		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
A Agricultura, ganadería, caza y silvicultura.	219	172	47	274	209	66
B Pesca.	12	12	0	15	15	0
C Explotación de minas y canteras.	4	4	0	5	5	0
D Industrias manufactureras.	16	11	5	20	13	7
E Suministro de electricidad, gas y agua.	1	1	0	1	1	0
F Construcción.	11	11	0	13	13	0
G Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores, motocicletas, efectos personales y enseres domésticos.	60	43	17	76	52	24
H Hoteles y restaurantes.	14	4	10	19	5	14
I Transporte, almacenamiento y comunicaciones.	112	112	0	136	136	0
J Intermediación financiera.	1	0	1	1	0	1
K Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler.	9	8	1	11	10	1
L Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria.	58	46	12	73	56	17
M Enseñanza	31	11	20	41	13	28
N Servicios sociales y de salud.	2	2	0	2	2	0
O Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales.	4	3	1	5	4	1
P Hogares privados con servicio doméstico.	6	2	4	8	2	6
Q Organizaciones y órganos extraterritoriales.	0	0	0	0	0	0
Ignorado	0	0	0	0	0	0
Total Ocupados	**560**	**442**	**118**	**701**	**536**	**165**

Fuente: Elaboración propia a partir de Censo 2002

Las actividades referente al pastoreo, depende generalmente de las mujeres y los niños, esta se realiza en la precordillera, la familia tiene la misión de cuidar al ganado mientras el hombre realiza actividades comerciales, principalmente el trueque. El cultivo, en terrazas, es la actividad económica de los habitantes de las quebradas. Respecto de la pesca artesanal, en la caleta de Camarones laboran y viven permanentemente poco más de 10 buzos artesanales, cuyos productos son comercializados en las ciudades de Arica e Iquique. La mayoría de los productos de estos tres ámbitos son puestos y ofrecidos en el mercado informal, ya que una gran cantidad de productores, no han formalizado su actividad económica, y venden sus productos en el mercado al mejor postor.

De estas tres actividades principales se extraen subproductos que benefician al mercado laboral, ya que otorgan empleo a muchas familias, ya sea, elaboración de mermeladas con los diferentes productos frutícolas, comercialización de quesos y leche;

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

además subproductos obtenidos del ganado y productos artesanales que se realizan con la lana y piel de éstos.

2.2.4. Condiciones de Vida de la Población

2.2.4.1. Salud

El sistema de atención primaria de salud comunal es público y es administrado por el municipio a través del Departamento de Salud y Medioambiente (PLADECO 2008-2012). La comuna cuenta con una posta que se ubica en la localidad de Codpa. En caso que algún paciente no pueda acudir a la posta, éstos son atendidos por la ronda médica que se realiza una vez al mes o cada 15 días, donde examinan a las personas que necesitan atención y le otorgan los medicamentos necesarios.

No existe consultorio público en la comuna, solo una posta rural y la distancia al hospital más cercano es de 120 km.

La Posta de Salud Rural otorga un servicio de atención primaria para urgencias. También se realiza una ronda médica municipal a través de la comuna por el personal de la posta, el cual se realiza en ambulancia, ronda que se realiza mensualmente. La atención promedio es de dos localidades por día con un promedio de horas de atención de 3 a 4 horas. Se realiza una ronda médica hospital por el servicio de Salud de Arica y la frecuencia es cada 3 meses, es decir 4 veces al año.

Cabe mencionar que según registros del Departamento de Salud de la Municipalidad de Camarones el total de prestaciones médicas de morbilidad el año 2006 fue de 2.202incluyendo consultas de morbilidad de urgencia, consultas de SAPU y las de Extensión Horaria y Rondas. Sin incluir control de Pacientes Crónicos, con una distribución pareja entre grupos etarios desde 0 a más de 65 años.

El registro de interconsultas de la mencionada entidad revela que el mayor porcentaje (cercano al 50%) de las derivaciones médicas el año 2006 corresponde a las especialidades de cirugía, oftalmología, dermatología y traumatología.

El rango etario que va desde los 20 a los 64 años, es decir, el segmento de la población de más participación activa en la fuerza de trabajo comunal, concentra el mayor número de derivaciones e interconsultas con un 53% del total de las prestaciones. Finalmente, podría argumentarse que una debilidad importante del sistema de asistencia comunal público radica en que no cuenta con consultorios, lo que obviamente restringe la posibilidad de contar con profesionales permanentes, por lo cual los habitantes de los sectores rurales más alejados deben desplazarse a la cabecera comunal.

En cuanto a índices de natalidad y mortalidad la primera tiene una tendencia a aumentar levemente entre el año 2001 y 2006.La mortalidad experimenta una clara baja entre 2001 y 2006, la cual en el período asciende a 1%. No obstante cabe destacar que en un rango más amplio de comparación en Camarones como en todo el país, las tasas de natalidad y mortalidad han venido descendiendo, producto de las modificaciones de conductas demográficas, desde comportamientos rurales a patrones urbanos (transición demográfica). En cuanto a causa de muerte más relevante cabe consignar que las más

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

frecuentes son las enfermedades relacionadas con el sistema circulatorio, con una tasa de 1 por 1.000.

2.2.4.2. Educación

Según el PLADECO 2008-2012 el número de establecimientos educacionales de la comuna son 10, de los cuales 9 son escuelas básicas y 1 liceo de educación media, todos ellos municipales.

La escolaridad de la comuna llega a los 8,09 años y el porcentaje de asistencia de sus alumnos es del 84,69%. Sus alumnos pertenecen a los diferentes pueblos de la comuna y de las comunas vecinas de Putre, General Lagos y Arica.

Sus padres y apoderados en su mayoría se desempeñan en las actividades agropecuarias, donde sus ingresos económicos son muy bajos, de allí que la mayor parte de los alumnos reciben beneficios de becas; como la beca indígena y Presidente de la República.

Aproximadamente el 80% de los alumnos son de origen aymara, es por eso que en el liceo se inicia el año 2001 la Enseñanza de la Educación Intercultural Bilingüe, el cual emprende el rescate de costumbres y tradiciones aymaras.

Cabe destacar que la mayoría de los establecimientos rurales corresponden a centros educacionales uni y bidocentes, esto es, uno y dos profesores por escuela, respectivamente, lo cual refleja las dificultades y restricciones para una implementación adecuada de los procesos de enseñanza - aprendizaje.

Según el sistema nacional de indicadores municipales, la cobertura de educación municipal es bajísima llegando sólo a un 35,06% de la población objetivo al año 2010, y una escolaridad promedio de la población de 9,06 de 15 o más años.

La matrícula efectiva se ha mantenido con variaciones relativas registrando en el año 1997 un total de 110 alumnos como punto más bajo entre ese año y el 2006; y 167 alumnos como *peak*en el año 2002.La matrícula promedio mensual de establecimientos municipales al año 2010 es de 112 personas y un 76,79% de asistencia escolar comunal.

2.2.4.3. Vivienda

Según la información proporcionada por el Censo 2002 existen a ese año un total de 658 viviendas, todas ellas rurales y el 25% están desocupadas. El 15% de las viviendas está clasificado como mediaguas y el 10,5% como rancho o chozas.

De una población total de la comuna de 1220 habitantes; el 47% vive en casa, el 19% en mediagua, un 9% viven en ranchos o chozas,

De un total de viviendas particulares ocupadas el 45% son de madera o tabique forrado, 24% son de adobe, 21% son de paneles prefabricados y sólo 8% son de hormigón o ladrillo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Por otra parte, las encuestas Casen de los años 2000, 2003 y 2006 describe en el Cuadro 2.2.4.3-1 el índice de materialidad de las viviendas de la comuna.

CUADRO2.2.4.3-1
INDICADOR DE MATERIALIDAD DE LAS VIVIENDAS
COMUNA DE CAMARONES (%)

Indicador de materialidad	Comuna de Camarones			País		
	2000	2003	2006	2000	2003	2006
Buenas	14	17,7	9,5	81,9	81,4	76,8
Aceptables	19,4	32,7	37,5	8,2	6,9	6,7
Recuperables	39,2	23,9	19,6	4,3	5,5	7,7
Deficitarias	27,4	25,7	33,5	5,6	6,2	8,8

Fuente: Encuesta CASEN 2006

Se observa que en el transcurso de los años aumenta el número de viviendas deficitarias en desmedro de las viviendas categorizadas como buenas. No obstante aumenta el número de viviendas aceptables. Estos indicadores están bastante lejanos al promedio nacional, aunque a este nivel también se observa un aumento en viviendas deficitarias en desmedro de las buenas.

Según la misma fuente el porcentaje de hacinamiento en los hogares de la comuna disminuye desde 7,3% a 1,5% entre el año 2003 y el 2006, mientras que esta cifra aumenta levemente a nivel de país.

En cuanto al nivel de saneamiento de las viviendas, el Cuadro 2.2.4.3-2 indica que esta condición es deficitaria mayoritariamente en las viviendas de la comuna y con índices muy por sobre el promedio nacional. No obstante el nivel deficitario disminuye en el transcurso del periodo analizado, aumenta el porcentaje de viviendas con saneamiento aceptable y disminuye el porcentaje con indicador bueno.

Según información del SINIM (Sistema Nacional de Información Municipal) al año 2010 existe en la comuna una cobertura de agua potable del 19,57% y un 0,01 m^2 por habitante de áreas verdes con mantenimiento.

La misma fuente revela que al año 2010 solo el 0,07% de las viviendas tiene recepción definitiva respecto del número de rol de predial.

CUADRO2.2.4.3-2
INDICADOR DE SANEAMIENTO DE LAS VIVIENDAS (%)

Indicador de Saneamiento	Comuna de Camarones			País		
	2000	2003	2006	2000	2003	2006
Bueno	4,8	0,3	1,6	79	79,9	81,9
Aceptable	6,7	3,1	21,8	5,5	6,7	8,1
Regular	19,4	2,4	21,9	8,3	8,2	6
Menos que regular	0,3	0	1,1	0,8	0,6	0,3
Deficitarias	68,8	94,2	53,6	6,4	4,7	3,7

Fuente: Encuesta CASEN 2006

2.2.4.4. Servicios Básicos

En general, la población no cuenta con una infraestructura adecuada para poder mejorar la calidad de vida de la población, lo que genera según la descripción del Plan de Desarrollo Comunal un desincentivo (o nulo atractivo) en las personas, el hecho de no contar con una infraestructura adecuada para vivir en la comuna. Esta fuente detalla información relacionada a los principales servicios básicos y la comuna.

En cuanto al servicio de agua potable y alcantarillado, la comuna prácticamente no posee redes de alcantarillado y el sistema de distribución de agua potable es en forma básica y precaria en algunos sectores, solamente actúan como redes de distribuciones de agua de consumo. La Empresa Aguas del Altiplano ha incurrido en nuevas redes de distribución en agua de consumo en el valle de Codpa, Esquiña e Illapata y nuevas proyecciones para la cuenca de Camarones.

La comuna se abastece de electricidad principalmente por generadores electrógenos y paneles de sistema solar, lo que se traduce en una seria limitante para el sector productivo agroindustrial, pesquero y de turismo.

Con respecto al servicio de telecomunicaciones, solo existen teléfonos públicos en las localidades más relevantes de la comuna, generalmente con problemas generalizados por falta de mantención periódica en los sistemas. Generalmente, se enlaza en sus comunicaciones a través de radios transceptores que abarca casi la totalidad de los poblados. La cobertura de telefonía celular e internet es muy acotada en la comuna solo a las localidades más pobladas.

De la televisión, se puede decir que existe un sólo canal (Televisión Nacional) y accesos a otros canales frecuentes de Radio y TV bolivianas y peruanas.

Respecto al servicio de recolección de basura está organizada en las dos localidades principales que son Cuya y Codpa, en el primero es una persona contratada por la Municipalidad, y en el segundo, existe un aporte en bencina para que una persona de la localidad recoja la basura cada 15 días, por lo que las personas se ven obligadas a quemar la basura contaminando con malos olores la localidad.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

En las demás localidades como Esquiña, Illapata, Camarones y la caleta Camarones, no existe un vertedero definido por lo que los pobladores botan la basura en los alrededores; como el lecho seco del río y en sus chacras, previa quemazón de ellas. Los vertederos no se encuentran señalizados ni con cierre perimetral que impida a que los particulares boten la basura en los alrededores.

2.2.4.5. Accesibilidad

Dada su condición limítrofe la comuna se caracteriza por ser territorio obligado de tránsito terrestre para las mercancías y personas que circulan desde el sur hacia la ciudad de Arica y el Perú.

Según datos de la Dirección de Vialidad (2010) la comuna ha aumentado el número de rutas asfaltadas lo que ha permitido una mayor frecuencia de la locomoción colectiva que une la comuna con los centros urbanos, tanto de la provincia como de la Región de Arica y Parinacota y de Tarapacá. Sin embargo, la conectividad terrestre hacia los pueblos del interior, donde existe una menor densidad poblacional, presenta serios problemas mermando la cobertura de servicios básicos, como sociales, de transporte, etc. El Cuadro 2.2.4.5-1 resume las principales rutas, destinos y distancias que atraviesan la comuna de Camarones.

En consecuencia, la ruta asfaltada ha mejorado el acceso de los habitantes de Camarones a distintos servicios que ofrecen las comunas vecinas. Sin embargo, desde la perspectiva del desarrollo de la comuna, la carretera es principalmente el elemento de paso del flujo vehicular desde y hacia la región de la Arica y Parinacota. De hecho, los servicios existentes en la carretera son pocos. En este sentido, no se ha aprovechado la localización de la comuna como acceso sur de la región y del propio poblado de Cuya (cabecera comunal).

En las zonas interiores existe una carencia de puentes estructurales peatonales y de vehículos, también como badenes en malas condiciones por las crecidas del río en periodos críticos de ciertas temporadas del año.

CUADRO 2.2.4.5-1
DESTINOS Y RUTAS QUE CRUZAN LA COMUNA DE CAMARONES

Desde	Hasta	Distancia (km)	Ruta	Tipo carpeta
Arica	Parcohaylla	244	A-11	40% Tierra 60% Asfalto
Alto Timar	Timar	4	A-305	Tierra
Alto Acha	Alto Timar	61	A-31	Tierra
Alto Acha	Timar	69	A-31	Tierra
Arica	Cobija	89	A-31	80% Ripio, 20% Tierra
Codpa	Guañacagua	4	A-315	Tierra
Codpa	Chitita	5	A-315	Tierra
Acc. Saguara	Saguara	20	A-323	Tierra
Saguara	Sucuna	7	A-323	Tierra
Alto Chocaya	Acc. Esquiña	35	A-331	Tierra
Alto Chocaya	Pachica	20	A-331	Tierra
Camarones	Taltape	5	A-347	Tierra
Camarones	Huancarane	25	A-347	Tierra
Camarones	Cochiza	40	A-347	Tierra
Taltape	Huancarane	20	A-347	Tierra
Huancarane	Cochiza	15	A-347	Tierra
Cruce Codpa	Codpa	35	A-35	Asfalto
Alto Corralones	Achacagua	10	A-353	Tierra
Cuya	Caleta Camarones	11	A-376	Tierra
Codpa	Ofragía	4	A-39	Tierra
Codpa	Timar	22	A-39	Tierra
Cuya	Pozo Almonte	165	A-5	Asfalto
Cuya	Codpa	90	A-5 / A-35	Asfalto/Tierra
Arica	Cuya	110	R-5	Asfalto
Arica	Cruce Codpa	66	R-5	Asfalto
Arica	Cobija	21 / 89	R-5 / A-31	Asfalto Tierra
Cuya	Camarones	25 / 21	R-5 / A-345	Asfalto Tierra
Arica	Camarones	87 / 21	R-5 / A-345	Asfalto Tierra

Fuente: Dirección de Vialidad (2010)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

3. RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES

3.1. 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 30estudios, los que se dividen en 6áreas temáticas:

- Área Civil: 5
- Área Recursos Hídricos: 3
- Área Geología y Geotecnia: 3
- Área Agronómica: 11
- Área Ambiental: 4
- Otras Áreas: 4

Los estudios se resumen brevemente en lo que sigue.

3.1.1. Estudios Área Civil

3.1.1.1. Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor 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.

Todos estos antecedentes fueron presentados a través de una aplicación de un Sistema de Información Geográfico (SIG), que permite contar con una visión integrada de los antecedentes disponibles, además de facilitar la consulta futura respecto de la información específica que resulte de interés.

Para objeto de este estudio solo se analizaron los antecedentes del valle de Vítor, ya que los demás están fuera del área de estudio.

Entre los antecedentes que se analizaron se cuenta con:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Antecedentes de Carácter General: Referente a la geografía física, económica y administrativa, y antecedentes cartográficos, topográficos y aerofotogramétricos.
- Recursos Hídricos Superficiales: Referente a la disponibilidad y eventos hidrometereológicos extremos.
- Recursos Hídricos Subterráneos.
- Calidad del Agua.
- Antecedentes Geológicos.
- Antecedentes Sedimentológicos: Referente a la granulometría y a antecedentes sedimentométricos.
- Catastro de Obras y Extracciones de Áridos.

Caracterización Geológica - Geomorfológica: Se describe la geología y geomorfología presente en los distintos valles.

Caracterización de los Recursos Hídricos Superficiales: Se determinan los caudales medios mensuales para distintas probabilidades de excedencia, y los caudales de crecidas para periodos de retorno de 50 y 100 años.

Caracterización de los Recursos Hídricos Subterráneos: Se realizó catastro de los pozos (64 pozos se ubican en el tramo de la quebrada de Vítor entre el sector de Chaca por aguas arriba y la desembocadura en el Océano Pacífico) y de su condición en cuanto inscripción de los derechos de aguas. Sólo dos pozos se ubican en la localidad de Codpa, destinados al abastecimiento de agua potable. Los restantes pozos tienen uso agrícola

Caracterización de la Calidad Físico Química del Agua: Se presenta la caracterización de la calidad físico - química de las aguas superficiales y subterráneas existentes en el área de estudio, a partir de los antecedentes consignados en estudios anteriores, con el fin de caracterizar y definir las aptitudes que intenta para su uso en riego o agua potable.

Caracterización de los Sedimentos: Se realizó a partir de los antecedentes disponibles, los estudios previos y antecedentes generados por el Consultor. A partir de los antecedentes disponibles se determinaron los valores característicos de las curvas granulométricas de los sedimentos constitutivos o lecho en tramos homogéneos de los cauces de interés.

Catastro de Obras de Extracciones de Áridos: Se realizó un catastro de bocatomas, defensas fluviales, puentes y extracciones de áridos.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

3.1.1.2. Evaluación Técnica del Proyecto Embalse Umirpa. DOH, 2005

Atendiendo a disposiciones del Sr. Director de Obras Hidráulicas, el Ingeniero Luis Vidal realizó una visita técnica a la Región, la última semana del mes de julio de 2005, con el objeto de efectuar una evaluación del sitio de embalse Umirpa. Lo anterior, en respuesta a una solicitud en tal sentido, planteada por la Sra. Alcaldesa de la Comuna de Camarones en reunión sostenida con el Sr. Director.

El embalse Umirpa se sitúa a unos 3.700 m sobre el nivel del mar, en un punto en que concurren las nacientes de la quebrada de Vítor para formar un estrecho cañón, designado como quebrada Achacagua en la carta IGM Sucuna, de escala 1:50.000. Su dirección predominante es este-oeste en un primer tramo de unos 2 km, luego se dirige hacia el suroeste por 1,5 km, para retomar el sentido este-oeste en un tramo final de 3 km, totalizando unos 6,5 km. En ese punto, la quebrada pierde la característica de un cañón estrecho, se le unen dos quebradas laterales y de ahí en adelante su denominación es quebrada de Vítor en la carta IGM señalada.

Durante la visita se hizo un recorrido parcial de la quebrada, encontrándose varios sitios que serían adecuados para implantar una presa de embalse. Sin embargo, dada la pendiente general del cauce, relativamente fuerte, es conveniente situar la presa lo más cerca posible del comienzo del cañón, donde la necesaria capacidad de embalse se obtendría con una menor altura de presa. Cumple con esta condición un sitio ubicado en el primer tramo de la quebrada, cerca de la entrada. En ese lugar, la ladera derecha está conformada por un macizo rocoso que se extiende con talud casi vertical hasta unos 30 m de altura. El estribo izquierdo tiene también una fuerte pendiente, pero no tanto como la del apoyo derecho de la presa. El ancho de la garganta a nivel de valle es de unos 40 m.

El cauce del río se desarrolla sobre rellenos aluviales. Durante la visita se hizo una estimación del caudal en un tramo recto, midiendo la velocidad superficial con un flotador, obteniéndose un valor cercano a 200 L/s. El agua se apreciaba limpia, sin sedimentos.

Las principales conclusiones de este estudio fueron:

- El proyecto de embalse Umirpa sería factible desde un punto de vista técnico. La presa que conformaría el embalse podría ser del tipo CFRD, con una altura de unos 30 m sobre el cauce actual del río y de unos 40 m totales sobre la roca basal. El evacuador de crecidas sería un vertedero lateral, con capacidad necesaria para evacuar la crecida milenaria, estimada preliminarmente en 250 m^3/s. El túnel de desvío tendría dimensiones mínimas, con sección de herradura normal de 3 m de diámetro y unos 170 m de longitud.
- El costo del embalse propuesto, de unos 4 hm3 de capacidad total, ascendería a unos US$ 3.048.000. La superficie beneficiada sería del orden de unas 400 ha, implicando una inversión de unos US$ 7.600 por hectárea. Dicha inversión bajaría a unos US$ 6.400/ha si el costo de mejoramiento de caminos

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

de acceso (todos existentes) estimado preliminarmente en US$ 500.000 fuera absorbido en presupuestos comunales o del área de vialidad. Se estima que, aún cuando estos valores unitarios de inversión no son bajos, el proyecto de embalse Umirpa sería rentable, dada la composición de la producción agrícola del valle.

La información de este estudio se utilizará como un antecedente básico para la selección de alternativas.

3.1.1.3. Estudio de Factibilidad de Embalses para los Valles de Lluta y Azapa, Ingendesa –DOH. Noviembre 2004

El área de estudio que contempló este estudio se encuentra localizada geográficamente entre los paralelos 18° 15' y 18° 40' de latitud sur y los meridianos 69° 30' y 70° 25' de longitud oeste, aproximadamente, y corresponde a los valles de los ríos Lluta y San José ubicados en la parte más septentrional del país.

En este estudio se desarrollaron los estudios técnicos y económicos de 24 angosturas, donde se proyectaron embalses de regulación para los ríos Lluta y San José, a nivel de factibilidad, incluido un estudio de análisis ambiental para las soluciones seleccionadas.

Los embalses proyectados fueron estudiados como obras de multipropósito, aceptando que ellos tendrían la función de:

- Controlar las crecidas y los sedimentos
- Asegurar y extender el riego en los valles de Lluta y Azapa

Los trabajos realizados fueron los siguientes:

- Identificación y cuantificación los daños que producen las crecidas y sedimentos en ambos valles.
- Identificación de los mejores sitios de emplazamiento de obras de regulación que permitan mitigar los daños producidos por las crecidas y sedimentos.
- Desarrollo de los diseños preliminares de dichas obras y selección a nivel de prefactibilidad aquellas que presentaron los mejores índices técnico-económicos.
- Se plantearon soluciones de proyecto con las obras seleccionadas, las cuales fueron caracterizadas con estudios completos de ingeniería y de agronomía, a nivel de factibilidad.
- Análisis y optimización de la operación del sistema de control de crecidas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

- Análisis de los impactos ambientales de cada una de las soluciones estudiadas y determinación de las medidas de mitigación y sus costos.
- Evaluación económica de las alternativas planteadas y recomendación de las más convenientes.

Los resultados de este estudio se usarán fundamentalmente como base para la elaboración de los presupuestos de las obras.

3.1.1.4. Factibilidad de Nuevas Obras de Regadío Valle de Codpa – Chaca. Luis Jorquera Galaz. Enero 1971

Resumen y conclusiones del informe.

1. El riego de las regiones Codpa y Chaca abarca una superficie de 190 has, de las cuales 170 ha se ubican en Codpa y 20 ha en Chaca. La seguridad de riego corresponde a la de un año 50% en su precipitación y la tasa de riego efectiva es de 0,46 L/s/ha. El área regada para una seguridad de riego 80% en su precipitación, alcanza aproximadamente a 120 ha, de las cuales 100 ha se ubican en Codpa y 20 ha en Chaca, región en la cual la totalidad de su riego se efectúa mediante captación subterránea.
2. Al captar de la hoya hidrográfica Surire que se ubica en el altiplano chileno, los recursos adicionales que de ella provengan, es posible incrementar el regadío de estas regiones en 190 ha con seguridad mayor a 80% proporcionando por otra parte esta misma seguridad de riego a las actuales 190 ha y alcanzando en esta forma una superficie total de regadío para ambas regiones de 380 ha (170 ha en Codpa y 210 ha en Chaca).
3. La distribución de los recursos actuales y adicionales se realiza mediante un calendario de turno que permite regar durante cinco días a la semana a la región de Codpa sin alterar su actual sistema de canales y entregándose sus derechos directamente regularizados desde el embalse Umirpa; durante los dos días siguientes se envía el total de los derechos de agua correspondientes a la región de Chaca, derechos que se captan, para su distribución y regulación, en un embalse semanal que se ubica en la región inmediatamente anterior a la iniciación del riego.
4. Las obras necesarias de construir para realizar esta distribución consisten en 70 obras de cierre con compuerta para los canales de Codpa, un embalse semanal para la región de Chaca de capacidad 55.000 m^3, una red matriz de canales revestidos de 6km de longitud y una red secundaria de canales revestidos de 2km de longitud, ambas para la región de Chaca.
5. Se analizan las proposiciones sobre captación de nuevos recursos en el altiplano, concluyéndose que la proposición más conveniente es captación de los recursos del rio Surire, con un embalse regulador en Umirpa para regar 200 ha en Chaca y mejorar el regadío de Codpa.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6. Del estudio agroeconómico de los cultivos actuales con análisis de las superficies agrícolas y producción del área para las regiones Codpa y Chaca, se presenta un plan de desarrollo agrícola del valle, con las posibilidades de desarrollo de estas dos regiones.
7. En Codpa se programa una nueva plantación de 20 ha de frutales, especialmente duraznos, mandarinos y naranjos y de 40 ha de viña aparte de un mejoramiento de las plantaciones actuales.
8. En Chaca se consulta una plantación de 100 ha de frutales principales, 25 ha de paltos, 20 ha de guayabos, 30 ha de limones y 25 ha de naranjos y 20 ha de frutales especialmente membrillos, mangos, granados, duraznos y chirimoyos.
9. Entre los beneficios derivados, cabe destacar los resultados del proyecto desde un punto de vista social, los cuales recomiendan su construcción y puesta en ejecución para asegurar una actividad económica estable a los habitantes de ambas regiones o a nuevos agricultores que allí se radiquen.

3.1.1.5. Informe Visita Tranque Umirpa, Ing. Hans Niemeyer, 1964

Uno de los primeros estudio del tranque Umirpa lo realizó el Ingeniero Hans Niemeyer.

Según este estudio, la garganta analizada se sitúa en la Alta Cordillera de Arica, en el punto de concurrencia de las nacientes de la Quebrada de Vítor o Codpa, a 3.700 m de altitud.

La garganta en estudio se ubica a comienzos de un cañón labrado en Liparita. El fondo de ella aparece cubierto del acarreo reciente del río, lo que impide determinar la profundidad de la roca de fundación. Es presumible, sin embargo, que no está muy profunda, dadas las condiciones topográficas generales (se calcula 5 a 8 m). El ancho en la base es de 40 m y a la altura del coronamiento del posible tranque, de 150 m. La altura se calcula en 45 m.

La zona de inundación es un poco alta en relación con la posición de la angostura, por lo se calculó solo en 10 m la altura media de agua. Se evaluó en 5.360.000 m^3 la capacidad de la hoya, incluyendo los dos ramales que concurren a formar la quebrada principal. Para determinar los recursos hídricos disponibles se realizó el cálculo del volumen suponiendo una precipitación de 200 mm y un rendimiento de un 30%, con lo que se determinó una disponibilidad de 12.600.000 m^3.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

3.1.2. Estudios de Recursos Hídricos

3.1.2.1. Construcción Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor. 4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda.-DOH, Agosto de 2009

Este estudio relacionado con defensas fluviales presenta información hidrológica de utilidad para el adecuado diagnóstico y definición de las defensas fluviales requeridas para la protección de los predios agrícolas de la Quebrada de Vítor. Para esto se determinaron los caudales de diseño y niveles de inundación correspondientes para periodos de retorno iguales a 10, 20, 50, 100 y 200 años, considerando que los diseños deben efectuarse para un período de retorno de 100 años.

3.1.2.2. 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

En este estudio se presenta información relevante para 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 en el sector, actualizadas 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.

3.1.2.3. Actualización Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos Zona I Norte, Regiones I a V Norte. AC Ingenieros Consultores Ltda.-DGA, 2007

En este estudio se ha efectuado una caracterización por cuenca de la situación actual y potencial agropecuaria, incluyendo uso del suelo y demandas de agua para las actividades agrícola, pecuaria y forestal.

El área de Chaca-Vítor se encuentra incluido al interior de la cuenca denominada Costera San José Camarones.

3.1.3. Estudios Área Geología y Geotecnia

3.1.3.1. 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

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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 1:1.000.000incorpora 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. Se estima 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.

3.1.3.2. Reconocimiento Geotécnico del Proyecto "Tranque Umirpa". Departamento de Arica, Instituto de Investigaciones Geológicas - 1967

A petición de la Junta de Adelanto de Arica el Instituto de Investigaciones Geológicas realizó el estudio geotécnico del proyecto "Tranque Umirpa". Este tranque quedaría ubicado en el altiplano de Arica a unos 4000 msnm, en la localidad denominada "Cuevas de Umirpa". El objetivo de este proyecto es almacenar las aguas provenientes de las precipitaciones que se produzcan en la cabecera de la hoya hidrográfica de la quebrada Vítor y utilizarlas en el riego de los terrenos en la parte inferior de la quebrada. Con estas aguas se pretende beneficiar los cultivos existentes y, si fuera posible, aumentar los terrenos agrícolas de la quebrada de 500 a unas 1000 ha cultivables.

El fin de este pre informe es destacar el alcance del estudio geotécnico y el estado actual en que se encuentra, adelantar conclusiones y recomendaciones sobre estudios

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

adicionales y señalar las estadísticas hidrológicas que se requieren antes de definir el proyecto.

El estudio geotécnico de este proyecto se inició en octubre de 1966. Durante la permanencia en terreno se investigó la geología de la zona del lago que formaría la represa y se seleccionaron dos posibles alternativas para la ubicación del muro.

Los estudios permiten adelantar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. El estudio geotécnico realizado el Instituto de Investigaciones Geológicas sólo analizó la factibilidad del proyecto del tranque desde el punto de vista geológico ingenieril, lo que excluye la investigación de los recursos de agua.
2. Por estimarse que el aspecto hidrológico es fundamental para cualquier proyecto de embalse, y en especial para éste, debido a los escasos recursos de agua existentes y a los pocos datos hidrológicos de que se dispone, se sugiere que la evaluación de los recursos hidráulicos la realice un experto en hidrología, en lo posible paralelamente al estudio geotécnico. De los resultados hidrológicos dependerá en gran parte la envergadura del proyecto, siempre dentro de los límites de posibilidades económicas y geotécnicas.
3. Se recomienda la instalación de una estación meteorológica y de aforo en el lugar del proyecto. Los autores comprenden que las estadísticas de estas estaciones sólo serán útiles a largo plazo, pero sería la manera más segura de obtener valores reales sobre los recursos de agua.
4. Se estima necesario efectuar estudios de susceptibilidad de arrastre sólido de las aguas que alimentarán el lago artificial para determinar la vida útil del embalse.
5. Se estima que las condiciones geotécnicas de la garganta y del área que ocuparía el lago artificial permiten la construcción de este embalse. En el próximo informe, que será acompañado de un mapa geológico, se darán detalles de estas condiciones, pero se excluirá todo lo referente a hidrología.
6. Una vez que se tenga definida la magnitud del embalse, en base a recursos de agua, factores económicos, arrastre sólido etc., se programaron estudios detallados orientados a la selección de las alternativas existentes en la ubicación de la presa y a proporcionar antecedentes para su diseño.

Para los estudios definitivos habría que considerar prospecciones de subsuperficie en el área de la garganta donde se ubicaría la presa, las que se harían mediante geofísica, galerías o sondajes. De esta manera se recogería información referente a mecánica de roca, permeabilidad y características de las fracturas. Además, podrían sugerir el tipo de presa y entregar información referente a materiales de construcción que podrían aprovecharse.

3.1.3.3. Breve Informe Geológico Preliminar de la Zona "Cuevas de Umirpa", Posible Lugar de Construcción de un Tranque para Quebrada Vítor, Raúl Salas Olivares, Instituto de Investigaciones Geológicas. 1964.

Este informe fue preparado a solicitud del Gobernador don Antonio Encina de la Torre y representantes de la Asociación de Agricultores Pro-adelanto del valle Codpa-Chaca. Se realizó una excursión a la zona de las Cuevas de Umirpa con el propósito de informar sobre las características geológicas del lugar, ante la posibilidad de construir allí un tranque para el riego de Vítor.

La garganta o cañón por donde escurren al poniente las aguas de la quebrada Umirpa, dista unos 7 km al sur-sureste del portezuelo de Marquéz (4.060 msnm). La garganta de Umirpa está localizada en el borde occidental del altiplano ariqueño a aproximadamente 3.850 m de altura sobre el nivel del mar.

En el área denominada cuevas de Umirpa existe una gran cuenca y una garganta o cañón privilegiados, considerando sus características topográficas, para la construcción de un tranque. La roca del cañón que es una toba se presta para hacer construcciones en ella ya que no se encuentra alterada, meteorizada o fallada. Los sistemas de fracturas que la afectan le comunicarán cierta permeabilidad, semejante a la de las rocas en las cercanías del muro en el tranque de Caritaya, por lo que sería recomendable en este caso tomar algunas precauciones especiales para solucionar en parte el problema de filtración, cuáles serían utilizar cemento a presión para rellenar las fracturas. Especial cuidado deberá tenerse en la planificación de canales de desagüe o rebalse ya que la toba es fácilmente erosionable por acción del agua. La envergadura de la obra a proyectarse estará limitada por las necesidades de regadío, las que podrían extenderse hasta la parte alta de la Pampa de Camarones, si las posibilidades de almacenamiento de agua en el tranque así lo permitieran. A su vez, la capacidad de almacenamiento de agua de la cuenca, que es bastante grande, está limitada por las precipitaciones pluviométricas del área y la superficie de la hoya hidrográfica.

Las principales conclusiones son:

- La cuenca de quebrada Umirpa en la zona visitada, presenta características topográficas ideales para planificar un tranque cuyo proyecto podría tener varias soluciones relacionadas con su capacidad.

- La roca en la cual deberá efectuarse el muro, consiste en una toba que aunque no es la roca ideal para eliminar al máximo las filtraciones, permite la construcción de este tipo de obra sobre todo si se toman en cuenta las sugerencias señaladas para este efecto. Deberá tener sumo cuidado en el diseño de canales de desagüe y rebalses, dado la gran facilidad que presenta la roca a erosionarse por acción del agua. Cualquier tipo de obra que se ejecute en esta zona para almacenar agua, deberá ser efectuada con el máximo de seguridad, ya que aguas abajo del valle se ubican

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

numerosos núcleos familiares y terrenos agrícolas entre los que se cuenta con el pueblo de Codpa, distante a unos 40 Km en línea recta del lugar en referencia.

- La bondad del clima en el Departamento de Arica y la gran productividad de sus suelos sumados a la posibilidad de llevar la agricultura a extensas zonas de la Pampa, permiten sugerir un estudio especializado más detallado del proyecto, para cuyos efectos el Instituto de Investigaciones Geológicas, por mi intermedio, se pone incondicionalmente a sus órdenes.

3.1.4. Estudios Área Agronómica

3.1.4.1. 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

Si bien en este estudio no se presenta descrito y caracterizado el actual proyecto de la Quebrada de Vítor, son de utilidad algunos aspectos agroeconómicos que se entregan en él.

En todo caso, se debe señalar que este estudio será considerado en forma referencial debido a que la información está desarrollada a nivel de perfil, careciendo del detalle necesario para poder levantar un proyecto a nivel de prefactibilidad.

3.1.4.2. 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 será considerada al momento de efectuar el diagnóstico de la situación actual del área.

3.1.4.3. 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.

3.1.4.4. 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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Cabe señalar que la información de utilidad está referida a los aspectos cartográficos necesarios para preparar el mapa base.

3.1.4.5. Estudio Agronómico Básico de los Valles Lluta, Azapa, Vítor y Camarones. REG Ingenieros Consultores-DOH, 2002

El objetivo del estudio citado fue definir los recursos naturales del sector agrícola de los cuatro valles de la Provincia de Arica y realizar una caracterización física de ellos, en la actualidad.

Este trabajo forma parte del Estudio Integral de Riego para los cuatro valles de la Provincia de Arica, que tiene como objetivo final, evaluar técnica, económica y financieramente, la factibilidad de la construcción de obras de regulación para los cuatro valles mencionados.

Se trata de identificar la cantidad y calidad de los recursos naturales de suelo y clima y la utilización que de ellos se hace, para detectar las fortalezas, limitaciones y problemas que se enfrentan, en especial los relacionados con su uso. La potencialidad de los recursos agrícolas que pueda lograrse, va a determinar la capacidad de la agricultura para financiar obras de mejoramiento, como embalses de regulación, conducciones, etc.

Los antecedentes determinados en él conforman la base del presente estudio, previa verificación de éstos, con el propósito de determinar la caracterización preliminar del área de estudio, en cuanto a suelos, uso del suelo, número de propietarios, entre otros.

3.1.4.6. 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

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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 Arica y Parinacota será utilizada en una amplia gama de temas relacionados con la presente consultoría, ya sea agroeconomía, medioambiente, hidrología, infraestructura, ingeniería, participación ciudadana, etc.

3.1.4.7. 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 usará 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.

3.1.4.8. 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.

Este estudio servirá en parte, complementado con el estudio de la DOH-Reg, para caracterizar aquellas áreas de interés para el presente estudio.

En el caso específico de la Evapotranspiración potencial, este parámetro será corregido y verificado en función del estudio de CIREN-CNR del año 1997.

3.1.4.9. 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:

(a) 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 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.

(b) 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.

(c) 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.

(d) 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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

(e) 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.

(f) 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.

3.1.4.10. Mejoramiento del Regadío del Valle Chaca – Codpa. Estudios de Anteproyectos de Captaciones de Nuevos Recursos de Agua para El Valle del Río Codpa, Nicanor Rojas Brito.1969

Dentro de las conclusiones y recomendaciones de este estudio se pueden rescatar las siguientes:

- Se concluye que aún cuando existen posibilidades ciertas de mejorar la situación angustiosa de la actual agricultura mediante obras de mejoramiento de la conducción de las aguas del río Codpa y una inevitable racionalización del uso de los recursos disponibles, a lo cual se agregará el drenaje de las ciénagas existentes aguas arriba del pueblo de Codpa, en especial en el lugar denominado Champal de Itiza, no se lograría dar una solución segura y definitiva con los recursos propios de la hoya solamente, puesto que es fundamental contar con una obra de regulación que no se justifica con los exiguos caudales disponibles en gran parte del año.
- Por otra parte se ha constatado la existencia de caudales importantes en Altiplano del Depto. de Arica que pueden ser conducidos al nacimiento del río Codpa y con la construcción de un embalse en la localidad de Umirpa, no sólo se solucionaría el problema de los terrenos actualmente explotados, sino que se incrementaría la zona de riego, de tal modo que podría llegar a compararse con el potencial del valle de Azapa. Esta circunstancia agregada a las excepcionales condiciones climáticas que hacen posible la producción de toda

clase de productos, configuran una posibilidad de insospechadas proyecciones tanto en el orden nacional como internacional.

3.1.4.11. 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 N° 24 y N° 56: El FAO N°56 fue elaborado en el año 1990 y contiene información más actualizada que el FAO N°24 que corresponde al año 1976, para verificar y complementar los factores de cultivo en la determinación de las necesidades de agua de riego.

3.1.5. Estudios Área Ambiental

3.1.5.1. 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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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.

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 será utilizada principalmente dentro del estudio de análisis ambiental.

3.1.5.2. 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 para todo el territorio nacional, los cuales se encuentran actualmente en poder de este consultor.

Esta información será usada para el estudio de análisis ambiental.

3.1.5.3. 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 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.

Esta información será usada para el estudio de análisis ambiental.

3.1.5.4. Regadío Codpa – Chaca, Informe Nº 2. Nicanor Rojas Brito. 1969

Se presenta un análisis químico muy acabado de las aguas de los ríos Guallatire, Ciénagas de Paquisa, Surire y Estero de Umirpa. Solo se presentarán las que son importantes para este estudio. Estas muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Dirección de Riego. En el informe se concluye lo siguiente:

- Las aguas del río Guallatire, Vertientes de Paquisa y Bofedal de Surire son aptas para el regadío (C2 S1) con las limitaciones que la presencia de Boro

introduce, o sea, buena para cultivos tolerantes, permisible para cultivos semi tolerantes y de dudosa aplicación para cultivos sensibles al Boro.

- Desde el punto de vista de la potabilidad en presencia de arsénico en concentración superior a 0,05 ppm, en algunos casos podría presentar un peligro para la población de los valles de Codpa y Chaca, como esta concentración no es permanente, habiendo muestras con cero ppm sería necesario un muestreo más minucioso, para determinar su verdadera importancia.

3.1.6. Estudios Otras Áreas

3.1.6.1. Programa de Saneamiento, Regularización y Perfeccionamiento de Derechos de Aguas de Arica y Parinacota. CNR- CEPA, 2011

Estudio que busca poder sanear, regularizar y perfeccionar la inscripción de los derechos de aprovechamiento de aguas de las organizaciones y personas naturales de la Región de Arica y Parinacota.

Este estudio se encuentra en pleno desarrollo, y hasta Noviembre 2011 se han realizado dos sesiones de talleres con agricultores de los valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, además de autoridades.

3.1.6.2. Programa de Transferencia de Capacidades para la Constitución de las Juntas de Vigilancia de Arica y Parinacota. CNR – AGROLEY, 2001

El objetivo de este estudio, que se encuentra en desarrollo, es transferir capacidades y brindar apoyo a los/as usuarios/as de agua, para fortalecer la gestión privada de los recursos hídricos en la Región de Arica y Parinacota.

Hasta el mes de Noviembre de 2011 se han realizado dos sesiones de talleres con agricultores de los valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, además de autoridades.

Además se realizó una recopilación de las comunidades de aguas existentes y un catastro general de los canales respectivos.

3.1.6.3. Construcción Barreras de Goma en Río San José, Conic-BF-DOH, 2000

Este estudio tuvo por objeto caracterizar, tanto productiva como económicamente, la situación actual o sin proyecto y aquella posible situación con proyecto, producto de la construcción de las barreras de goma en el río San José. Esta caracterización se efectuó a partir de la realidad actual del área y se expresó para el total de la zona de influencia del río San José de Azapa a través de los diferentes niveles tecnológicos existentes en ella.

Por otra parte, se confeccionaron estándares o fichas productivas y económicas de acuerdo a la estructura de cultivos actual y aquella posible de desarrollarse con proyecto.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Los estándares consideran ingresos brutos, costos directos, márgenes brutos, costos indirectos y los respectivos márgenes netos. Con los antecedentes indicados, se efectuó la respectiva evaluación económica del proyecto.

Posteriormente, se presentaron las demandas de agua para el sector, tanto en situación actual como con proyecto. La demanda unitaria ponderada fue la base de la determinación de la superficie potencialmente regable una vez instaladas las barreras de goma.

Finalmente, considerando que en el valle de Chaca-Vítor lo más probable es contar con aguas de buena calidad, parte de lo que entrega el estudio en análisis puede ser considerado como base en la caracterización del valle de Vítor, sobre todo en lo referido a los criterios de asignación futura, fichas técnico económicas y otros costos de inversión.

3.1.6.4. Catastro de Usuarios de Aguas de Cauces Ubicados en la Primera Región. Segunda Etapa, CADE-IDEPE-DGA - MOP, 1994

Este estudio a diferencia del "Estudio Agronómico Básico de los Valles Lluta, Azapa, Vítor y Camarones", de la DOH-REG año 2002, difiere notoriamente en relación al número de predios. Lo anterior se produciría debido a que el estudio de la DOH consideró un catastro anterior al de Cade-Idepe.

Según lo anterior, para la presente consultoría se considerará el catastro de Cade-Idepe, que contempla un total de 510 predios, subdivididos en 113 canales de riego.

Se obtuvieron los mapas de propiedades, los cuales se digitalizaron para ser utilizados en el proceso de determinación del área de estudio y el proceso de encuestas.

3.2. 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 3.2-1 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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO -
ANTECEDENTES CARTOGRÁFICOS

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
	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
	Pisos Vegetacionales (1:1.000.000)	Pliscoff y Lubert / SINIA-CONAMA
Riego y Agroeconomía	Distritos Agroclimáticos (1:1.000.000)	e-SIIR CNR, INIA, 1989.
	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
	Mapa de Suelos (1:20.000)	DOH - 2002
	Mapa de propiedades rurales	Digitalización Catastro de Usuarios de usuarios de aguas DGA, 1994.
Información Satelital	Imagen Landsat 7 (resolución 30 m)	Servidor USGS
	Modelo Digital de Elevación - SRTM (90 m)	Servidor USGS
	Modelo Digital de Elevación AsterGDEM (30 m)	Servidor ERSDAC

Fuente: Elaboración propia

3.3. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

3.3.1. Geomorfología

La cuenca del valle de Vítor posee una superficie de 1.830 km^2, se desarrolla a lo largo de 2 unidades morfométricas bien definidas, a saber Cordillera de la Costa y Depresión Intermedia o Zonas de Pampas. En régimen natural presenta un escurrimiento superficial permanente sólo en su sección superior, mientras que en la zona baja es esporádico.

Las unidades morfológicas mencionadas anteriormente se encuentran disectadas profundamente por la quebrada de Vítor que se constituye en el cauce principal de esta

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

cuenca, la cual nace con el nombre de quebrada de Chaca a partir de la confluencia de dos tributarios principales que corresponden a las quebradas de Sibataya por el sur y Aricoya, en el sector de Chitita a una altura sobre los 2.000 m.s.n.m.

El valle de la quebrada de Vítor, desde sus nacientes se presenta bastante estrecho y profundo al ser flanqueado por laderas de fuerte pendiente, observándose en la mayor parte de su trazado un escaso desarrollo de aterrazamientos fluviales. Debido a esta situación en el valle se presenta un desarrollo agrícola alternado en la zona de Chaca y de Codpa.

Desde su inicio, el rasgo estrecho y angosto del valle se mantiene prácticamente hasta el sector de Pintahue, desde donde presenta un ensanchamiento paulatino hacia aguas abajo luego de recibir el aporte de la Quebrada del Diablo en su ribera sur.

La mayor amplitud del cauce se hace cada vez más evidente en el sector de Chaca, a 800 m.s.n.m. donde es cruzada por la carretera Panamericana Norte en el puente Chaca. En este sector se desarrolla un valle de 1,5 km de ancho en promedio con presencia de cultivos a ambos costados del curso de la quebrada, las que han ido ocupando las amplias terrazas fluviales.

Los dos últimos cursos afluentes antes de su desembocadura en caleta Vítor son la quebrada de Garza o Calisana por el norte y una quebrada sin nombre por el sur.

3.3.2. Geología

Los antecedentes disponibles se obtuvieron de los estudios:

- "Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región", AC Ingenieros Consultores Ltda., Dirección de Obras Hidráulicas, julio de 2002.
- Mapa Geológico de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, 2003

En el estudio de AC Ingenieros, se analizaron aspectos relativos a unidades de rocas y de sedimentos del Valle de Vítor.

Dicho estudio señala que la cuenca del valle de Vítor se encuentra conformada por rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas e intrusivas que remontan cronológicamente desde el jurásico hasta el cuaternario.

En lo que sigue se presentan las unidades de roca identificadas en el valle en cuestión. Su ubicación se muestra en la Figura 3.3.2-1

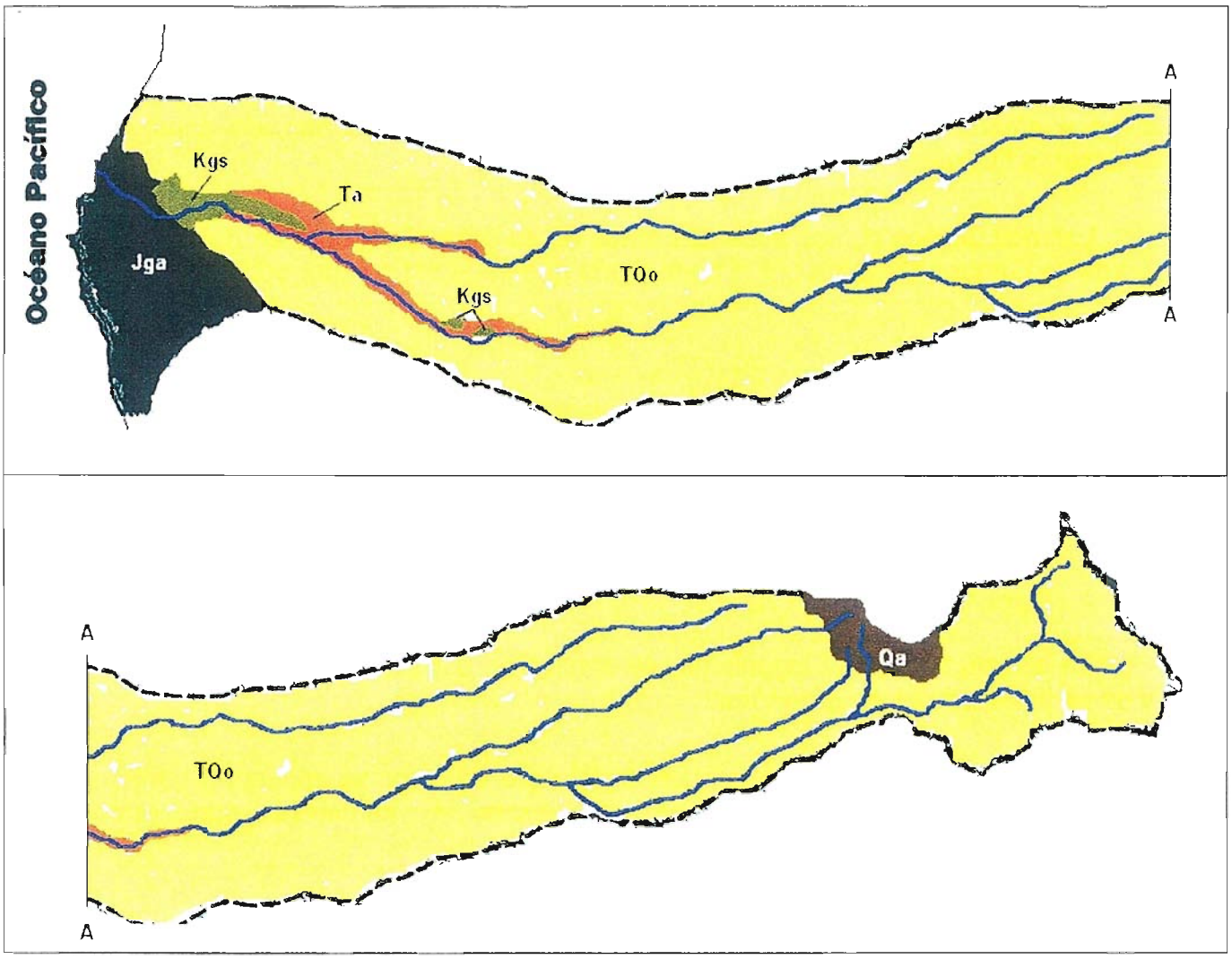
- Grupo Arica (Jga)

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Formación Sausine (kgs)
- Formación Azapa (Ta)
- Formación Oxaya (TQo)
- Rocas Volcánicas Cuaternarias (Qvj)

En el estudio realizado por el Sernageomin se presenta el mapa geológico de escala 1:1.000.000 con un nivel de detalle cercano a lo visto en las visitas a terreno realizadas en esta consultoría, por otra parte, la leyenda esquemática que acompaña al mapa, menciona solo aquellas unidades locales más representativas y conocidas, lo que facilita su comprensión.

FIGURA -
MAPA GEOLÓGICO DE CHILE, ZONA NORTE. DESCRIPCIÓN SECTOR ESTUDIO



Fuente: Elaboración Propia a partir de Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región, AC ingenieros.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Además, en el estudio "Catastro de Usuarios de Aguas de Cauces Ubicados en la Primera Región. Segunda Etapa" (DGA – CADE IDEPE, 1994) se informa de 113 que extraen agua de la quebrada Vítor – Codpa, más un canal que aprovecha recursos de la vertiente de Chacarillas. De estos canales, 45 constituyen legalmente comunidades de aguas.

. Estos antecedentes son confirmados en el estudio "Estudios Agroeconómicos Básicos de los Valles Lluta, Azapa, Vítor y Camarones" (DOH -REG, 2002), agregando además que las comunidades de aguas corresponden a 7.415 acciones, constituyendo derechos de carácter colectivo, de aprovechamiento consuntivo y ejercicio permanente y alternado.

Finalmente, el proyecto "Programa de Transferencia de Capacidades para la Constitución de las Juntas de Vigilancia de Arica y Parinacota" (CNR – AGROLEY, 2001) presenta un listado con 63 Comunidades Aguas, junto con su inscripción en el Conservador de Bienes Raíces de Arica y las acciones de riego que les corresponden, las cuales suman para la totalidad del valle 10.730,4 acciones. Además destaca que cerca de 80% por ciento de las comunidades de Aguas, miembros de las futuras Juntas de Vigilancias, no presentan directivas actualizadas, funcionando en su mayoría por medio de un representante común, el cual generalmente coincide con los miembros de las pocas comunidades vigentes.

3.5. ANTECEDENTES AMBIENTALES

En el presente acápite se mencionan los antecedentes ambientales relevantes que se encuentran disponibles para el presente estudio.

3.5.1. Calidad de Aguas

Los antecedentes disponibles se encuentran agrupados en las siguientes fuentes de información:

- Regadío Codpa – Chaca (1969), citado en "Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región". AC Ingenieros Consultores Ltda.,DOH,2002
- Estudio Agronómico Básico de los Valles Lluta, Azapa, Vítor y Camarones. REG Ingenieros Consultores-DOH, 2002

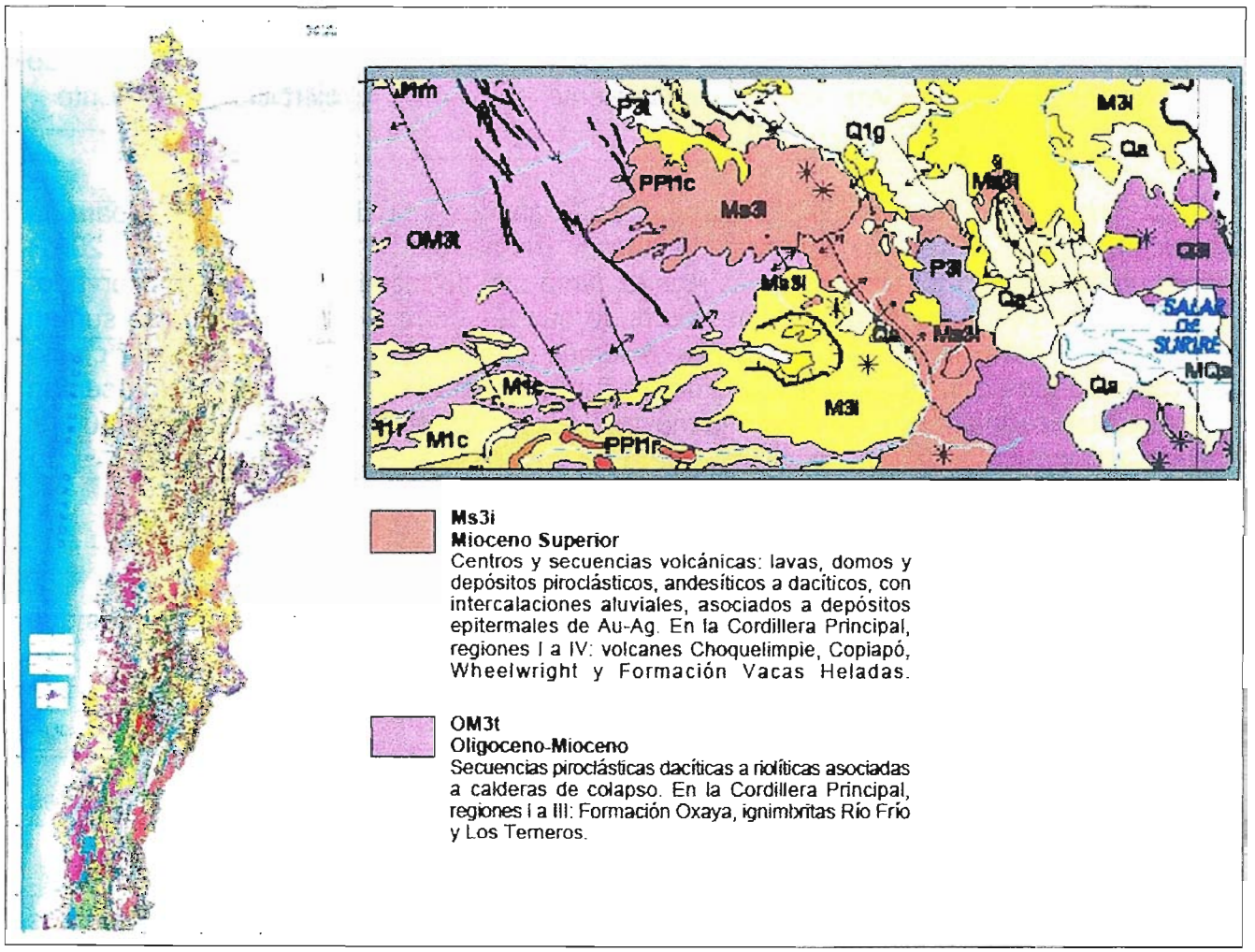
Del primer estudio se dispone de 7 muestras de calidad de agua (parámetros químicos) tomadas en el nacimiento del Río Vítor (sector altiplano) en 1969, mientras que del segundo estudio se dispone del resultado de 6 muestras (parámetros físicos y químicos) tomadas en la estación fluviométrica "Río Codpa en Cala Cala", entre los años 1990 al 1998.

En el estudio realizado por AC Ingenieros, se analizaron las limitaciones que presenta la calidad del agua a sus distintos usos, considerando los requerimientos que ésta

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

En particular, las formaciones rocosas de interés son Ms3i y OM3t presentes en el sector de estudio. En la Figura 3.3.2-2 se muestra el mapa geológico de la zona norte de Chile, incluyendo un acercamiento en el sector de estudio y la definición de Ms31 y OM3t.

FIGURA -
MAPA GEOLÓGICO DE CHILE, ZONA NORTE. DESCRIPCIÓN SECTOR ESTUDIO



Fuente: Elaboración Propia a partir de Mapa Geológico de Chile, 2003.

3.4. ANTECEDENTES DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS Y ORGANIZACIONES DE USUARIOS

La información de derechos de aprovechamiento de aguas constituidos y organizaciones de usuarios se encuentra disponible en el Catastro Público de Aguas de la Dirección General de Aguas.

debe cumplir conforme a lo indicado en las normas "Agua Potable, Requisitos" (NCh 409 Parte 1 Of 1984) y "Requisitos de Calidad del Agua Para Diferentes Usos" (NCh 1.333 Of 1978).

Los antecedentes para este valle son escasos, y corresponden a información puntual del cauce.

3.5.2. Vegetación

Para la descripción de la vegetación, se dispone de los siguientes antecedentes recopilados:

- Cartografías y Descripción de Uso de Suelo del Catastro y Evaluación de las Formaciones Vegetacionales Nativos de Chile.
- Cartografías y Estudio de Pisos Vegetacionales de Pliscoff y Luebert.
- Cartografías y Estudio de Formaciones Vegetacionales de Gajardo.

El análisis detallado de la vegetación presente en el área de estudio se incluye en la el Volumen 3 de la presente consultoría en el marco del Estudio de Análisis Ambiental.

3.5.3. Sitios Protegidos y Biodiversidad

Para la caracterización de los sitios protegidos para conservar la biodiversidad y que alberguen ecosistemas valiosos, ubicados en el área de estudio o sus inmediaciones, se cuenta con los siguientes antecedentes recopilados.

- Cartografías de los sitios del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE).
- Estrategia Regional de Biodiversidad, descripción de sitios prioritarios y cartografías relacionadas.
- Vegas y Bofedales. Se poseen todas las resoluciones de la Dirección General de Aguas emitidas en relación con la identificación y delimitación de las zonas que corresponden a acuíferos que alimenten vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá (ex región de Tarapacá) y de Antofagasta. Ello con el propósito de resolver fundadamente solicitudes de autorización de exploraciones de aguas subterráneas en dichas zonas, como de entender dichas áreas como zonas de prohibición para mayores extracciones que las ya autorizadas o para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento respecto de ellas. La delimitación de las referidas zonas tiene como propósito, la protección de los humedales citados, pues, ellos sustentan ecosistemas únicos y frágiles que se hace necesario conservar y preservar. Los listados han sido tabulados y georreferenciados para ser visualizados espacialmente en capas o layer de SIG y Autocad.

El análisis detallado de los sitios protegidos y biodiversidad en el área de estudio se incluye en el Volumen 3 de la presente consultoría en el marco del Estudio de Análisis Ambiental.

3.5.4. Otros Antecedentes

Estudios de impacto ambiental de proyectos ubicados cercanos al área del proyecto.

3.6. ANTECEDENTES DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

3.6.1. Caracterización de los Recursos Hídricos Superficiales

Los antecedentes disponibles se encuentran consignados en la siguiente publicación:

- Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región, AC Ingenieros Consultores Ltda., Dirección de Obras Hidráulicas, julio de 2002.

La caracterización de la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales se realizó en base al régimen hidrológico representado por las series de caudales medios mensuales y anuales disponibles en las estaciones de control ubicadas en las cuencas en estudio. La disponibilidad del recurso superficial en cada uno de los puntos de interés se evaluó en base a las curvas de duración del gasto medio mensual y anual, junto con las curvas de variación estacional definidas para distintas probabilidades de excedencia. También se confeccionó un plano actualizado de isoyetas, utilizando la información del período 1962/63 a 2000/01.

En el valle se cuenta con una estación pluviométrica denominada Codpa, ubicada en las coordenadas N: 7.917.083 (m), E: 421.649 (m), en la cota 1.800 (msnm), vigente desde el año 1963.

Las zonas de cumbres que limitan las cuencas por el lado oriente, presentan precipitaciones del orden de 250 mm a 300 mm en el valle de Vítor.

A nivel del mar las precipitaciones son prácticamente nulas, con un muy lento crecimiento hacia el interior de los valles, hasta situarse en valores de entre los 25 mm y 100 mm en la faja más central del valle.

En relación a los recursos superficiales disponibles, el valle presenta una marcada característica predominante en que la mayor disponibilidad se genera en los meses de diciembre a marzo, pudiendo incluso iniciarse dicho periodo en enero. La mayor

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

disponibilidad de recurso superficial se da en el mes de marzo. Esta cuenca muestra además un relativo crecimiento de los caudales en el periodo invernal, entre mayo y agosto.

También en forma común, los periodos de mayor escasez del recurso superficial se presentan en los meses de septiembre a noviembre, pudiendo incluso alcanzar en algunos casos hasta diciembre.

En el valle de Vítor, los mayores caudales que se observan en el mes de marzo, presentan valores del orden de 0,4 m^3/s y 0,55 m^3/s para probabilidades de excedencia de 50% y 25 %, respectivamente. Dichos valores se reducen a 0,10 m^3/s y 0,15 m^3/s para el mes de noviembre, que es el de menor recurso superficial disponible.

Para crecidas de hasta 50 años de periodo de retomo, las crecidas se reducen en magnitud en la medida que se avanza en sentido hacia la costa. Ello debido al efecto de amortiguamiento que se genera en el valle y por la inexistencia de aportes en las zonas medias del valle, al concentrarse las precipitaciones en las zonas altas de este valle.

Dicho efecto sólo se invierte para las crecidas mayores a 100 años de período de retorno, en donde probablemente por las características más generalizadas en términos espaciales de los eventos de precipitaciones que lo generan, se producen aportes en las zonas medias y bajas de los valles.

Para el uso de estos antecedentes como parte de un futuro estudio integral de riego, debe tomarse en cuenta que algunas de estas estaciones se encuentran influenciadas por las extracciones y recuperaciones del riego, lo cual debe considerarse para la modelación hidrológica de la cuenca.

3.6.2. Antecedentes Pluviométricos

Los antecedentes disponibles se encuentran consignados en la siguiente publicación:

- "Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor", 4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009.

Del análisis de la información pluviométrica se observó la no coincidencia en fechas de ocurrencia ni en órdenes de magnitudes entre las precipitaciones máximas diarias de las distintas estaciones, con escasa o nula correlación entre las series. Esto confirma el carácter local típico de las precipitaciones convectivas de la zona, lo que no permitió el relleno o extensión de información faltante.

De acuerdo a esto, se efectuaron análisis de frecuencia tanto analíticos como gráficos a cada serie en su longitud original. Se ajustaron las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel, Pearson III y LogPearson III, evaluándose el mejor ajuste con los

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

tests χ^2, Kolmogorov-Smirnov e inspección ocular respecto a la posición de ploteo de Weibull.

Los resultados se resumen en Cuadro 3.6.2-1.

CUADRO 3.6.2-1
PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS (mm)

Estación	Período de retorno (años)						Distribución Mejor Ajuste
	5	10	20	50	100	200	
Codpa	9,5	13	16,6	21,4	25,2	28,9	LogPearson
Esquiña	13,9	17,5	20,9	25,3	28,6	31,9	Gumbel
Tignamar	28,4	37,1	45,8	57,3	66,0	74,8	Pearson

Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

De los resultados del análisis de frecuencia se observa claramente el aumento de las precipitaciones con la altura. Considerando que la cuenca de la Quebrada Vítor alcanza hasta la cumbre del cerro Tallapollo, con una cota de 5.070 m.s.n.m., donde las precipitaciones serán aun mayores a las medidas, en la Cuadro 3.6.2-2 se presenta la variación de la precipitación con la altura, incluyendo en ella información de estaciones más altas registradas en el estudio de Ingendesa en los valles de Lluta y Azapa.

En la Figura 3.6.2-1, se presenta la variación de la precipitación con la altura, donde se observa una tendencia bastante lineal, del orden de 15 mm/km para un período de retorno de 10 años, aunque se genera una saturación para períodos de retorno altos, que puede deberse a la mayor incertidumbre de las extrapolaciones estadísticas, pero que también puede tener un sentido físico.

En base a esta relación se evaluarán las precipitaciones sobre distintas subcuencas afluentes a la Quebrada Vítor, para la estimación de los correspondientes caudales de diseño.

Se cuenta con antecedentes pluviométricos más detallados en los anexos del estudio citado.

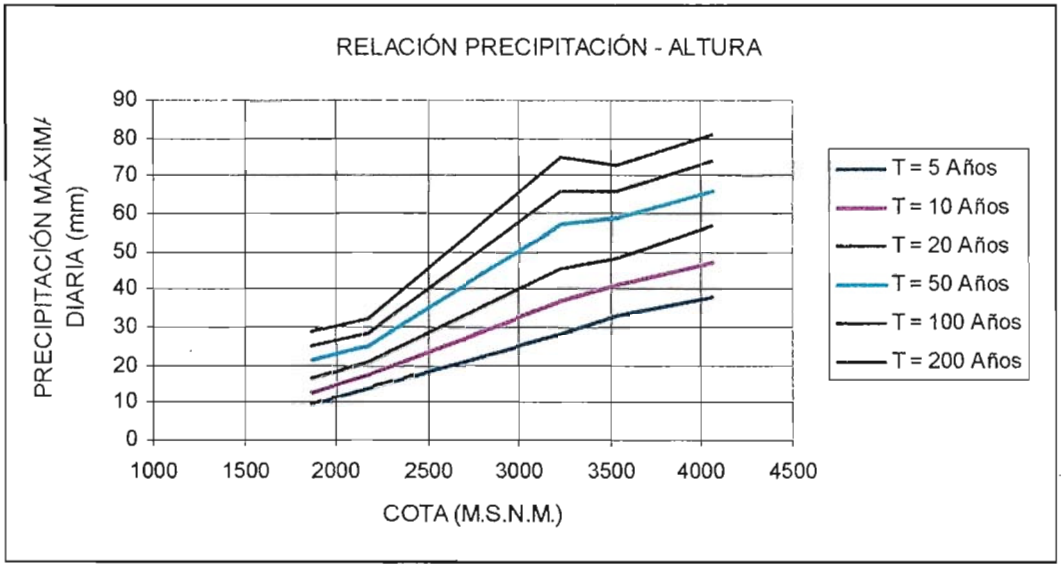
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.6.2-2
RELACIÓN PRECIPITACIÓN ALTURA

Estación	Cota (m.s.n.m.)	Período de retorno (años)					
		5	10	20	50	100	200
Codpa	1.870	9,5	13	16,6	21,4	25,2	28,9
Esquiña	2.170	13,9	17,5	20,9	25,3	28,6	31,9
Tignamar	3.230	28,4	37,1	45,8	57,3	66	74,8
Putre	3.530	33	41	48	59	66	73
Villa industrial	4.060	38	47	57	66	74	81

Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

FIGURA 3.6.2-1
RELACIÓN PRECIPITACIÓN ALTURA



Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

3.6.3. Antecedentes Fluviométricos

Los antecedentes disponibles se encuentran consignados en la siguiente publicación:

- "Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor", 4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009.

La información fluviométrica disponible presenta frecuentes interrupciones de los registros, por lo que se consideran sólo de regular calidad, por lo que se debe ser cauto en su manejo e interpretación.

Al correlacionar las distintas estaciones entre sí, se observó un nivel de correlación dentro de los niveles mínimos aceptables, entre las estaciones Codpa en Cala Cala y Camarones en Conanoxa, lo que permitió rellenar la estadística de Codpa en Cala Cala en los años 1993 y 1996. Cabe agregar, que la estación Camarones en Conanoxa posee datos en un período anterior, entre 1960 y 1970, que permitiría la extensión a dichos años de la estadística de Codpa. Sin embargo, los parámetros estadísticos de dicho período anterior resultan inconsistentes con los del período más moderno, por lo que en dicho estudio se prefirió no hacer uso de dicha información.

En resumen, se configuró una serie de 25 años para la estación Codpa en Cala Cala, la que se sometió a análisis de frecuencia tanto analíticos como gráficos. Se ajustaron las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel, Pearson III y LogPearson III, evaluándose el mejor ajuste con los tests χ^2, Kolmogorov-Smirnov e inspección ocular respecto a la posición de ploteo de Weibull. Los resultados se resumen en la Figura 3.6.3-1.

Los ensayos analíticos admiten como distribuciones de mejor ajuste las distribuciones Pearson, LogPearson y LogNormal. Del mejor ajuste gráfico se seleccionó en definitiva como distribución de mejor juste la distribución LogPearson, con los resultados que se indican en la Cuadro 3.6.3-1.

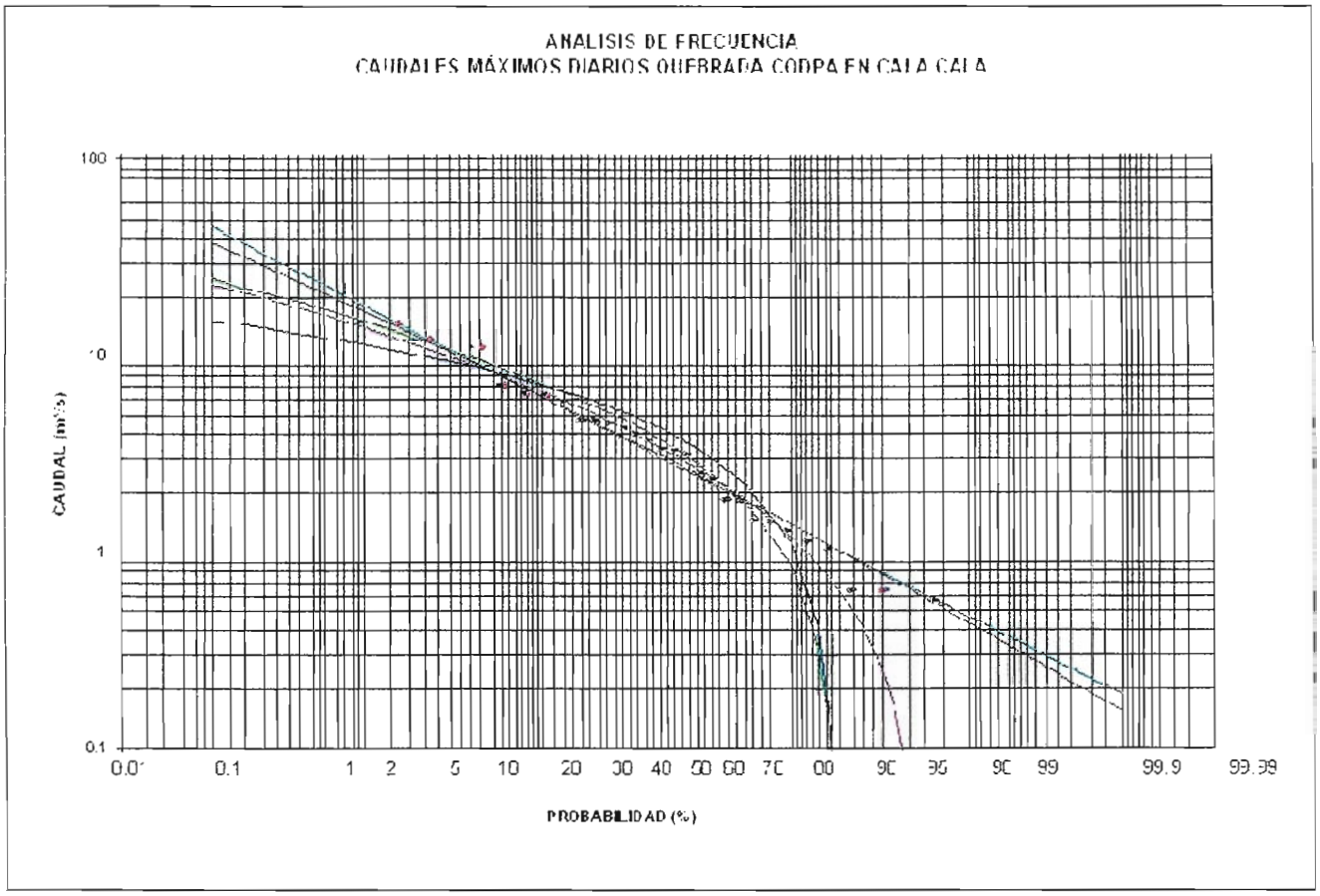
CUADRO 3.6.3-1
CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS (m^3/s)

Estación	Período de retorno (años)						Distribución mejor ajuste
	5	10	20	50	100	200	
Codpa en Cala Cala	6,3	9,1	12,2	17,0	21,1	25,6	LogPearson

Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 3.6.3-1
CAUDALES MÁXIMOS DIARIOS QUEBRADA CODPA EN CALA CALA



Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

3.6.4. Eventos Hidrometeorológicos Extremos

3.6.4.1. Antecedentes Básicos

Los antecedentes disponibles se encuentran consignados en la siguiente publicación:

- Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región, AC Ingenieros Consultores Ltda., Dirección de Obras Hidráulicas, julio de 2002.
- "Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor", 4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009.
- Estudio de Factibilidad de Embalses para los Valles de Lluta y Azapa, Ingendesa–DOH. Noviembre 2004.

4C Consultores en Ingeniería realizó una actualización de los antecedentes de prensa con referente a inundaciones de importancia, antecedentes que se presentan en el Cuadro 3.6.4.1-1 para el Valle de Vítor.

CUADRO 3.6.4.1-1
RESUMEN ARTÍCULOS DE PRENSA PARA EL VALLE DE VÍTOR

Fecha	Título	Contenido
19 de Febrero 2001	Temor por eventuales bajadas de los ríos Acha, Chaca y Codpa.	En el artículo se describe la situación registrada producto de la crecida de la quebrada de Vítor, llamada río Codpa. De acuerdo a los antecedentes entregados el escurrimiento habría arrasado dos puentes de madera ubicados a los largo del poblado y pone en peligro la estabilidad del puente sobre la ruta 5. Además se señala el peligro de viviendas de maderas localizadas en caleta Vítor por riesgos de desborde del cauce de la quebrada en esta zona.
22 de Febrero 2001	Vítor recibió ayuda por mar	Se Informa de las gestiones realizadas por la gobernadora provincial para la atención de los problemas que presentan los pobladores de la quebrada de Vítor, debido al colapso del puente que une el poblado con la ruta 5. Se indica que la población se encuentra aislada y que la entrega de ayuda en alimentos y agua debió realizarse por vía marítima.
22 de Febrero 2001	Pérdidas Agrícolas en Caleta Vítor	La noticia describe la situación registrada en los sectores agrícolas de la quebrada de Vítor en su sector bajo. Se señala que producto de las crecidas del 15 de Febrero se perdió el 80% de la capacidad agrícola de los terrenos ribereños de la quebrada, afectando las perdidas a más de 61 familias.

Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

En los puntos siguientes se presentan antecedentes de sequías y crecidas para el área de interés.

3.6.4.2. Antecedentes de Sequías

Para caracterizar las sequias que han afectado la zona, se cuenta con la información disponible en el informe DGA-MOP (1992), en el cual se describen los problemas ocasionados por la sequia ocurrida en las provincia de Arica y Parinacota, durante el periodo comprendido entre 1987 a 1992.

Para fines del presente estudio, la caracterización anterior puede ser complementada con datos pluviométricos de la región. En efecto, se dispone de registros de las precipitaciones mensuales de las diferentes estaciones que existen en las cuencas de río Lluta y San José. Además, se cuenta con estadísticas de caudales medios mensuales para las estaciones de la zona. En base a esta información se estudió el comportamiento histórico de las series con el fin de identificar aquellos años en que han ocurrido eventos hidrometeorológicos extremos, particularmente desde el punto de vista de las sequías. Los resultados se presentan en el Cuadro 3.6.4.2-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

CUADRO3.6.4.2-1
PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES Y MEDIA ANUAL (mm)
VALLE DEL RÍO SAN JOSÉ Y ZONAS VECINAS (AC-DGA, 1998)
PERÍODO 1962/63 A 1994/95

Estación	OCT	NOV	OIC	ENE	FES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
Visviri	9,6	13,7	39,3	95,4	68,0	51,3	12,9	2,0	0,9	0,6	4,7	1,1	299,3
Cotacotani	8,2	17,7	55,7	116,7	96,6	72,3	14,5	2,4	2,0	1,6	5,0	3,8	396,4
Chucuyo	4,9	12,1	44,2	106,9	83,8	60,9	8,3	1,7	1,6	4,6	6,3	2,1	337,4
Pirtre	1,5	3,3	25,0	67,9	58,4	29,5	1,8	0,3	1,0	0,1	2,0	-	192,1
Belén	1,3	1,4	14,8	50,3	47,5	22,5	2,4	0,1	0,8	0,2	2,2	2,3	145,9
Arica	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	1,0
Codpa	0,1	0,4	0,5	4,7	4,6	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	12,3

Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

3.6.4.3. Antecedentes de Crecidas

Los antecedentes disponibles se encuentran consignados en las siguientes publicaciones:

- "Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región", AC Ingenieros Consultores Ltda., Dirección de Obras Hidráulicas, julio de 2002.
- "Conservación de riberas de cauces naturales, Codpa, Esquiña e Illapata, Comuna de Camarones", DOH, 2005, GVO.
- "Diagnóstico de manejo de cauces quebrada de Vítor. DOH, 2006, Comuna de Arica". Prisma Ingeniería Limitada.
- "Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor", 4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009.

En el estudio base de Prisma Ingenieros se presenta un estudio de crecidas, basado en los registro de la estación fluviométrica de Codpa en Cala - Cala, obteniéndose para quebrada Vítor en desembocadura los siguientes caudales de diseño, presentados en Cuadro 3.6.4.3-1.

A su vez en el estudio "Conservación de riberas de cauces naturales, Codpa, Esquiña e Illapata" de GVO., se estimaron caudales en la parte alta de la quebrada de Vítor, en base al método del hidrograma – unitario, dado que no se consideraron los registros medidos en la estación Codpa en Cala – Cala, por incompletos e inconsistentes.

CUADRO 3.6.4.3-1
CAUDALES DE CRECIDA ADOPTADOS
QUEBRADA DE VÍTOR

Período de retorno (años)	Caudal (m^3/s)
2	4
5	8
10	12
25	14
50	18
100	21

Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

En el Cuadro 3.6.4.3-2 se presentan los caudales obtenidos en ese estudio.

CUADRO 3.6.4.3-2
CAUDALES DE CRECIDA ADOPTADOS
QUEBRADA DE VÍTOR, SECTOR CODPA

Período de retorno (años)	Caudal (m^3/s)
5	0
10	5
25	36
50	85
100	157

Fuente: Conservación de riberas de cauces naturales, Codpa, Esquiña e Illapata" de GVO

Debido a la fuerte inconsistencia que existe entre los dos estudios hidrológicos analizados, en el estudio realizado por 4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda. elaboró un nuevo estudio hidrológico para determinar las crecidas en Quebrada Vítor aguas abajo del Puente Chaca de la Ruta 5 (sector de interés para dicho estudio).

Con este fin se recopiló tanto la información de precipitaciones máximas como de caudales medios máximos diarios y máximos instantáneos, existente en la cuenca como en las cuencas colindantes del río Tignamar como de la quebrada Camarones.

En el Cuadro 3.6.4.3-3 y Cuadro 3.6.4.3-4 se presentan las estaciones tanto pluviométricas como fluviométricas con información recopilada, que se encuentra en los anexos del estudio realizado por 4C Consultores en Ingeniería Civil.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Finalmente en Figura 3.6.4.3-1 se presenta un plano de ubicación de las estaciones pluviométricas como fluviométricas a utilizar en este estudio.

CUADRO 3.6.4.3-3
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICA CON INFORMACIÓN RECOPILADA

Código BNA	Nombre Estación	Año		Localización	
		Instalación	Supres.	Latitud	Longitud
01410012-1	Codpa	1961	-	18°50'	69°45'
01502007-5	Esquiña	1975	-	18°56'	69°32'
01300008-5	Tignamar	1976	-	18°34'	69°29'

Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

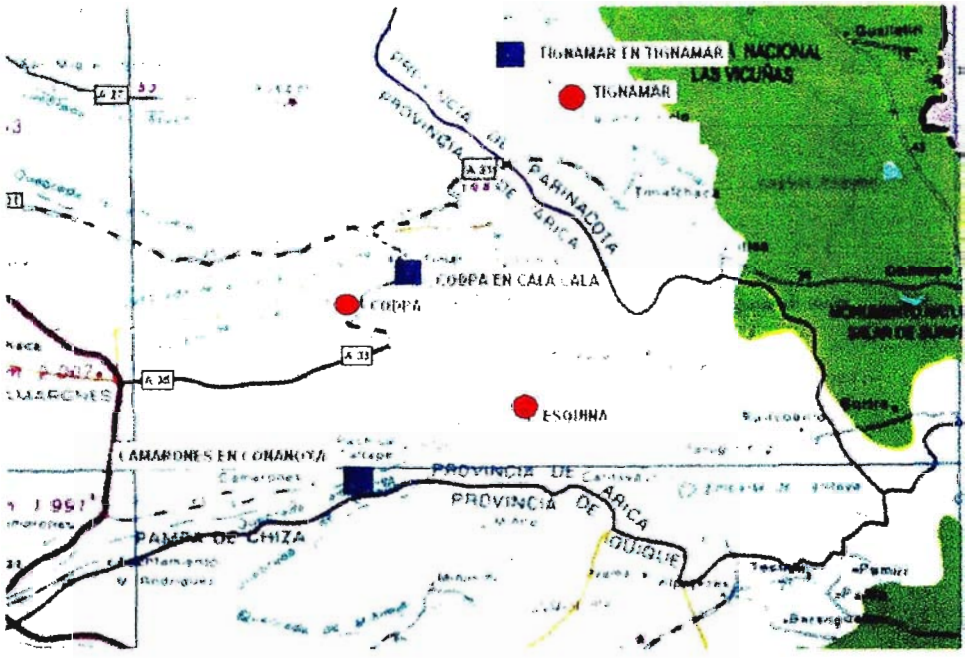
CUADRO 3.6.4.3-4
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CON INFORMACIÓN RECOPILADA

Código BNA	Nombre Estación	Año		Localización	
		Instalación	Supres.	Latitud	Longitud
01410004-0	Río Codpa en Cala Cala	1978	-	18°50'	69°41'
01502002-4	Río Camarones en Conanoxa	1959	-	19°01'	69°52'
01300001-8	Río Tignamar en Tignamar	1997	-	18°31'	69°32'

Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.6.4.3-1
UBICACIÓN ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y FLUVIOMÉTRICAS



Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

En el Cuadro 3.6.4.2-5 se presentan una comparación de resultados obtenidos por 4C Consultores, tanto del análisis y transposición de caudales medidos, como del estimado por métodos indirectos basado en la aplicación del hidrogramas unitario.

CUADRO 3.6.4.3-5
COMPARACIÓN DE RESULTADOS CAUDALES

Período de retorno (años)	Método Análisis de Frecuencia	Crecida H.U. (m^3/s)
5	6,7	3,2
10	9,9	19,5
20	13,3	22,2
50	20,6	35,2
100	26,7	49,8
200	33,5	65,3

Fuente: Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor".
4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009

Del análisis del Cuadro anterior, se observa que los resultados obtenidos por el método del hidrogramas unitario son más conservadores a los obtenidos desde el análisis de

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

frecuencia de datos medidos en la estación Cala – Cala y posterior transposición a la zona bajo estudio, a excepción del caudal para el período de retorno de 5 años.

Considerando que el método indirecto del hidrogramas unitario es altamente sensible tanto a la curva número como a la curva precipitación – área utilizada, y que estas variables no se disponen con exactitud en la zona bajo estudio (y que escapa al alcance de este trabajo), se emplearan los caudales basados en análisis de frecuencia de registros medidos y transpuestos a la zona de interés. Sin embargo, en los diseños, las obras propuestas se verificaran con los caudales del H.U.

3.6.5. Antecedentes Sedimentológicos

Los antecedentes disponibles se encuentran consignados en las siguientes publicaciones:

- Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región, AC Ingenieros Consultores Ltda., Dirección de Obras Hidráulicas, julio de 2002.
- "Protecciones de Predios Agrícolas, Cauce Quebrada Vítor", 4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., Agosto 2009.

Estos estudios consideran los valores registrados por la estación sedimentométrica Río Lluta en Tocontasi (código BNA 1210001-1), actualmente suspendida con registros iniciados en 1999.

3.6.5.1. Granulometría

Antes del estudio realizado por AC Ingenieros no existían antecedentes relativos a caracterizaciones granulométricas para las cuencas de la Quebrada Vítor, y si existían datos para cuencas cercanas, como la cuenca del río Lluta y Azapa. Este es un comentario emitido en el estudio mencionado luego de revisar los antecedentes que se encuentran disponibles principalmente en el archivo técnico del Departamento de Obras Fluviales del Ministerio de Obras Públicas.

En el estudio realizado por AC Ingenieros se realizaron calicatas en los 4 valles estudiados, y referente al Valle de Vítor se realizaron 5 calicatas a las que se les hicieron ensayos de clasificación granulométrica.

En el Cuadro 3.6.5.1-1 se presentan las coordenadas de las calicatas realizadas para el Valle de Vítor, coordenadas que son aproximadas ya que se obtienen del plano de caracterización granulométrica realizado por AC Ingenieros, escala 1:300.000, no habiendo un cuadro con las coordenadas en ninguna parte del estudio.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.6.5.1-1
COORDENADAS CALICATAS REALIZADAS EN EL VALLE DE VÍTOR

Calicata Nº	Coordenadas datum PSAD1956		Ubicación
	Norte (m)	Este (m)	
1	7.925.300	359.950	Caleta de Vítor
2	7.923.150	366.950	Caleta de Vítor
3	7.923.250	374.850	Entre Caleta de Vítor y Chaca
4	7.918.600	379.500	Chaca
5	7.918.500	421.100	Codpa

Fuente: Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región. AC Ingenieros Consultores Ltda.-DOH, julio de 2002

En el Cuadro 3.6.5.1-2 se presentan los parámetros característicos de los sedimentos de las calicatas realizadas.

CUADRO 3.6.5.1-2
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS SEDIMENTOS DE LA QUEBRADA VÍTOR

Nº Calicata	D_{16} (mm)	D_{50} (mm)	D_{84} (mm)	D_{90} (mm)	D_g (mm)	S_g (mm)
1	0,11	0,50	6,30	11,00	0,80	7,60
2	0,40	45,00	310,00	345,00	11,10	27,80
3	0,43	75,00	210,00	250,00	9,50	22,10
4	0,50	50,00	260,00	315,00	11,40	22,80
5	1,30	200,00	370,00	410,00	21,90	16,90

Fuente: Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región. AC Ingenieros Consultores Ltda.-DOH, julio de 2002

Cabe señalar que en las calicatas 2, 4 y 5 se diferenciaron 2 capas, y el resultado que se muestra en el Cuadro anterior corresponde al valor integrado.

En el Anexo 3-1 se presentan los resultados del análisis granulométrico y fotografías de cada calicata.

En el Cuadro 3.6.5.1-3 se presenta una descripción estratigráfica del río Vítor.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 3.6.5.1-3
DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA RÍO VÍTOR

Nº Calicata	Grano Grueso %	Grava %	Arena %	Grano fino %	Observación
1	94,07	0	94,07	5,93	Grano Grueso Arena
2	96,27	44,63	51,64	3,73	Grano Grueso Arena
3	97,35	45,36	51,99	2,65	Grano Grueso Arena
4	96,37	43,11	53,26	3,63	Grano Grueso Arena

Fuente: Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región. AC Ingenieros Consultores Ltda.-DOH, julio de 2002

3.6.5.2. Sedimentología

En relación a las limitaciones de la información se constató que en la totalidad de las estaciones de medición de caudales medios diarios, se dispone de información con numerosos vacíos en los períodos de registro como también de escasa extensión. A raíz de ello concluyeron que es necesario considerar como parte del estudio sedimentológico futuro, el relleno y extensión de las series de caudales medios diarios de modo de disponer de la información más actualizada posible. Asimismo, en relación a las limitaciones de los antecedentes sedimentométricos, se debe considerar que para determinar los caudales de sólidos en suspensión se deben utilizar relaciones de tipo teórico.

3.7. ANTECEDENTES DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

Los antecedentes disponibles se encuentran consignados en la siguiente publicación:

- "Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región", AC Ingenieros Consultores Ltda., Dirección de Obras Hidráulicas, julio de 2002.

Los antecedentes de los recursos hídricos subterráneos son más bien escasos no existiendo a la fecha ningún estudio específico como si ocurre en los valles de Lluta y San José.

Los antecedentes disponibles solo corresponden a antecedentes básicos tales como: catastros de pozos y derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, no existiendo análisis de pruebas de bombeo de donde se puedan obtener los parámetros de los acuíferos, ni pozos de observación donde se puedan obtener las variaciones de niveles en el tiempo de los acuíferos.

De acuerdo al estudio realizado por AC Ingenieros (2002) el número total de pozos catastrados asciende a 64 pozos, los cuales se ubican en su mayoría en el tramo entre el

sector de Chaca y la desembocadura en el Océano Pacifico. Sólo dos de ellos se ubican en la localidad de Codpa, destinados al abastecimiento de agua potable. Los restantes pozos tienen uso agrícola.

Dado la falta de análisis que permitan obtener una caracterización del acuífero, los expedientes de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas disponibles en el Catastro Público de Aguas (CPA) del Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH) de la DGA-MOP corresponden a una buena fuente de información para realizar un análisis del acuífero.

3.8. CATASTRO DE LAS OBRAS

Los antecedentes disponibles se encuentran consignados en la siguiente publicación:

- "Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región", AC Ingenieros Consultores Ltda., Dirección de Obras Hidráulicas, julio de 2002.

En el estudio citado se efectuó un catastro de las obras existentes en el Valle de Vítor, para lo cual se utilizaron antecedentes obtenidos de la revisión de la información disponible y la información generada de la campaña de terreno realizada. Esta última consistió en la visita y caracterización de las principales obras y verificación de información mediante entrevistas tanto con los representantes de usuarios como los organismos públicos pertinentes.

Dicho catastro consistió en que cada una de las obras identificadas fue individualizada a través de coordenadas de su posición, las cuales fueron obtenidos de la información recopilada y complementada en terreno a través del uso de su posicionador satelital (GPS), considerando como referencia el sistema coordenado UTM con origen en el datum PSAD1956. En total se catastraron 3 puentes, 137 bocatomas, y una defensa fluvial.

3.8.1.1. Bocatomas en Canales

En este valle existe un total de 137 bocatomas de las cuales 114 captan sus aguas de la Quebrada Vítor o Codpa, 15 de la quebrada Timar y 8 de quebrada Cobija.

Para este valle se distinguen 2 grandes sectores de riego. El primero corresponde al sector del valle de Codpa, ubicado en los alrededores del poblado del mismo nombre. El segundo corresponde al sector de Chaca, que comprende el tramo de alrededor de 5 Km aguas arriba del poblado del mismo nombre (cruce de la Ruta 5 con la quebrada de Vítor) y hasta alrededor de 1.000 maguas abajo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Al igual que para los valles anteriores, las bocatomas son de carácter principal construidas en base a tacos de tierra y ramas y no poseen regulación del caudal de entrada.

Las comunidades de agua de este valle se encuentran regularizadas en alrededor del 70% del total existente a la fecha del estudio. Además los usuarios se encuentran en proceso de la creación de una junta de vigilancia, la que en la actualidad funciona sólo como una situación de hecho.

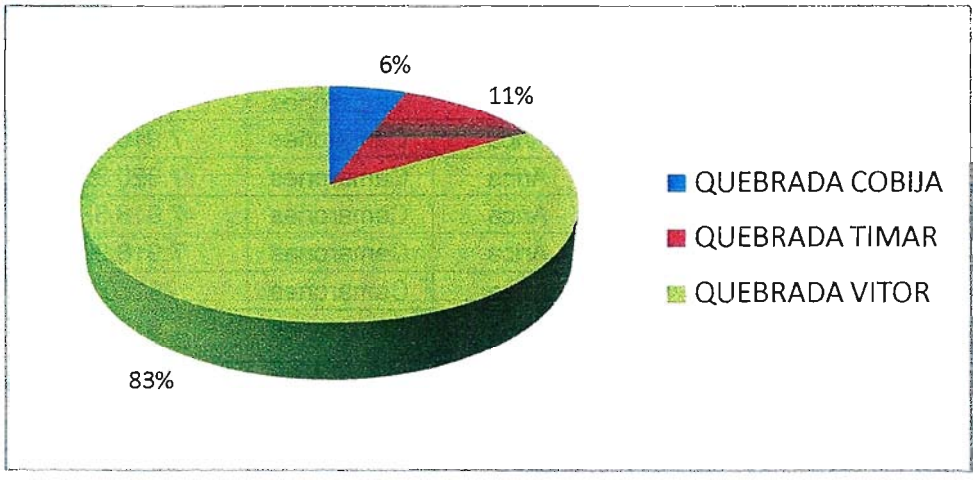
En el Cuadro 3.8.1.1-1se presenta un resumen con la cantidad y porcentaje de las obras catastradas y en la Figura. 3.8.1.1-1se muestra la distribución de bocatomas por fuente de recurso del valle.

CUADRO3.8.1.1-1
BOCATOMAS CATASTRADAS EN EL VALLE DEL RIO VÍTOR

Fuente o Cauce	Número de Bocatomas
Quebrada Cobija	8
Quebrada Timar	15
Quebrada vítor o Codpa	114
Total General	**137**

Fuente: Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región, AC Ingenieros Consultores Ltda.-DOH. Julio de 2002

FIGURA 3.8.1.1-1
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS BOCATOMAS EN EL VALLE DEL RÍO VÍTOR



Fuente: Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región, AC Ingenieros Consultores Ltda.-DOH. Julio de 2002

Se puede apreciar que el 83% de las bocatomas se encuentran en la quebrada de Vítor, de ellas alrededor de un 61% se ubica en el sector de Codpa, un 9% en el sector de Chaca y el 3% restante en el sector alto del valle. En el sector de Chaca, aguas abajo del puente, no existen muchas obras de bocatomas debido a que en este sector de la quebrada se abastece principalmente de pozos.

. En el Cuadro 3.8.1.1-2se presenta un resumen con la ubicación referidas a las coordenadas UTM de las bocatomas catastradas en este valle.

CUADRO 3.8.1.1-2
RESUMEN CON LA UBICACIÓN DE LAS BOCATOMAS CATASTRADAS
VALLE DE VÍTOR

Bocatoma del Canal	Provincia	Comuna	Coordenadas	
			Norte	Este
Palca	Arica	Camarones	7.918.052	430.351
Palca Dos	Arica	Camarones	7.917.713	430.717
Palca Uno	Arica	Camarones	7.917.668	430.744
Pantigoso	Arica	Camarones	7.917.290	418.544
Pedregal Chico	Arica	Camarones	7.916.234	433.689
Peragonia o Perasane	Arica	Camarones	7.917.268	419.924
Pidaspampas	Arica	Camarones	7.918.354	429.128
Ponce	Arica	Camarones	7.917.441	411.716
Poroma	Arica	Camarones	7.918.390	427.892
Poroma Cuatro	Arica	Camarones	7.918.679	423.650
Poroma Dos	Arica	Camarones	7.918.439	429.590
Poroma Tres	Arica	Camarones	7.918.910	426.087
Pucará Uno o Pucará	Arica	Camarones	7.918.405	429.368
Quilliquilli	Arica	Camarones	7.917.943	417.195
Ranchucata	Arica	Camarones	7.918.477	423.662
René	Arica	Camarones	7.920.270	445.090
Rincón de la Sombra	Arica	Camarones	7.915.046	432.932
Roque	Arica	Camarones	7.920.320	444.700
Rosasani Cinco	Arica	Camarones	7.918.373	429.879
Rosasani Cuatro	Arica	Camarones	7.918.304	430.030
Rosasani Dos	Arica	Camarones	7918013	430.431
Rosasani Tres	Arica	Camarones	7.918.100	430.265
Rosasani Uno	Arica	Camarones	7917750	430.640
Sabayane Norte Uno	Arica	Camarones	7.918.695	426.811
Sabayane Sur	Arica	Camarones	7.918.657	426.648
San Antonio	Arica	Camarones	7.917.711	416.566
San Pancho	Arica	Camarones	7.917.317	416.068
Santa Rosa Dos	Arica	Camarones	7.917.630	416.487
Santísimo	Arica	Camarones	7.818.639	423.156

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 3.8.1.1-2
RESUMEN CON LA UBICACIÓN DE LAS BOCATOMAS CATASTRADAS
VALLE DE VÍTOR

Bocatoma del Canal	Provincia	Comuna	Coordenadas	
			Norte	Este
Seis Poniente	Arica	Arica	7.920.566	378.652
Tanguaya	Arica	Camarones	7.918.582	427.478
Tres Oriente	Arica	Arica	7.918.870	380.192
Tres Poniente	Arica	Arica	7.919.399	379.452
Unif. El Tapial El Arenal Uno	Arica	Camarones	7.917.619	421.055
Unificado Amasaca Grande Tapia	Arica	Camarones	7.917.435	419.110
Unificado Viñanes Santa Rosa Uno	Arica	Camarones	7.917.394	418.286
Uno Poniente	Arica	Arica	7917353	382.138
Yucra Dos	Arica	Camarones	7917353	411.875
Yucra Uno	Arica	Camarones	7.915.436	412.108
Zenis	Arica	Camarones	7.918.760	427.071
Zubieta	Arica	Camarones	7.920.150	444.570
Choquehuanca	Arica	Camarones	7.920.270	445.130
Chuca Chuca	Arica	Camarones	7.918.441	428.462
Cinco Poniente	Arica	Arica	7.920.000	379.460
Cuatro Oriente	Arica	Arica	7.920.506	378.814
Dos Oriente	Arica	Arica	7.918.158	380.868
Dos Poniente	Arica	Arica	7.917.747	381.340
El Arenal	Arica	Camarones	7.917.495	420.410
El Olivo	Arica	Camarones	7.818.502	423.070
Elías Dos	Arica	Camarones	7.917.398	438.684
Elías uno	Arica	Camarones	7.919.420	438.960
García Norte	Arica	Camarones	7.917.304	411.455
García Sur	Arica	Camarones	7.917.280	411.588
Guañacagua	Arica	Camarones	7.919.080	425.606
Hillarane	Arica	Camarones	7.916.962	415.050
Huancarane	Arica	Camarones	7.919.280	425.018
Incauta Calle Norte	Arica	Camarones	7.922.630	448.350
Incauta Calle Sur	Arica	Camarones	7.922.550	448.250
Incauta Castro Norte	Arica	Camarones	7.922.180	447.780
Incauta Castro Sur	Arica	Camarones	7.922.100	447.630
Incauta Lázaro	Arica	Camarones	7.922.200	447.840
Incauta Llave	Arica	Camarones	7.922.430	448.120
Isajima	Arica	Camarones	7.918.654	423.817
Justina	Arica	Camarones	7.918.750	442.520
La Curva Norte	Arica	Camarones	7.916.300	433.910
La Curva Sur	Arica.	Camarones	7.916.300	433.851
La Falca	Arica	Camarones	7.917.460	420.382
La Hacienda	Arica	Camarones	7.917.783	416.867

CUADRO 3.8.1.1-2
RESUMEN CON LA UBICACIÓN DE LAS BOCATOMAS CATASTRADAS
VALLE DE VÍTOR

Bocatoma del Canal	Provincia	Comuna	Coordenadas	
			Norte	Este
La Huerta	Arica	Camarones	7.917.626	421.885
La Ladera	Arica	Camarones	7.917.579	420.870
La Virgen Dos	Arica	Camarones	7.917.736	417.500
La Virgen Uno	Arica	Camarones	7.917.838	422.083
Las Animas	Arica	Camarones	7.918.238	422.462
Las Huertas	Arica	Camarones	7.917.455	421.800
Llave Lázaro	Arica	Camarones	7.922.350	447.990
Luza	Arica	Camarones	7.918.396	428.043
Mal Paso	Arica	Camarones	7.918.315	422.683
Mamani	Arica	Camarones	7.920.250	444.650
Marquirabe	Arica	Camarones	7.918.976	424.568
Miraflores	Arica	Camarones	7.918.446	427.815
Molinos	Arica	Camarones	7.917.961	422.289
Molle Grande	Arica	Camarones	7.919.878	435.848
Muñoz	Arica	Camarones	7.918.896	426.393
Naranjane	Arica	Camarones	7.919.173	425.387
Niña Alto	Arica	Camarones	7.917.312	438.250
Nina Bajo	Arica	Camarones	7.917.356	437.912
Nina Medio	Arica	Camarones	7.917.287	438.122
Pacayane	Arica	Camarones	7.919.068	425.615
Pacayane Bajo	Arica	Camarones	7.917.435	420.324
Cacapampa	Arica	Camarones	7.929.350	431.180
Chacapampa	Arica	Camarones	7.928.610	431.120
Llarapampa	Arica	Camarones	7.928.220	429.940
Quebrada Cobija	Arica	Arica	-	-
Queñuane	Arica	Camarones	7.928.830	431.108
Quilpane	Arica	Camarones	7927890	429.100
Taracollo	Arica	Camarones	7927560	127.000
Tocore	Arica	Camarones	7928640	431.310
Cagualle	Arica	Camarones	-	-
Carate	Arica	Camarones	-	-
Chocano	Arica	Camarones	7.927.016	427.106
Chuca Chuca Alto	Arica	Camarones	-	-
Chuca Chuca Bajo	Arica	Camarones	-	-
Ciquinchira	Arica	Camarones	7.927.043	427.237
Guañajara	Arica	Camarones	7.927.077	427.307
Los Membrillos	Arica	Camarones	7.927.141	427.375
Los Sauces	Arica	Camarones	7.927.032	427.212
Manzanane	Arica	Camarones	7.927.083	427.312

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 3.8.1.1-2
RESUMEN CON LA UBICACIÓN DE LAS BOCATOMAS CATASTRADAS
VALLE DE VÍTOR

Bocatoma del Canal	Provincia	Comuna	Coordenadas	
			Norte	Este
Pampa Yapu	Arica	Camarones	79.270.141	427.102
Quebrada Timar	Arica	Camarones	-	-
Timar	Arica	Camarones	7.927.160	427.173
Timar Norte	Arica	Camarones	-	-
Timar Sur	Arica	Camarones	7.927.025	427.154
Achacagua o Achacagua Cinco	Arica	Camarones	7.916.878	435.847
Achacagua Seis	Arica	Camarones	7.916.126	433.527
Achacagua Tres	Arica	Camarones	7.916.082	433.424
Achacagua Nina Norte	Arica	Camarones	7.918.775	441.880
Achacagua Nina Sur	Arica	Camarones	7.918.760	443.010
Agua Potable Pueblo de Codpa	Arica	Camarones	7.918.080	422.345
Ámasaca Chico	Arica	Camarones	7.917.486	419.137
Ambrosio	Arica	Camarones	7.918.750	442.260
Andacollo	Arica	Arica	7.918.896	425.989
Ancocollo	Arica	Camarones	7.917.508	381.640
Antonia	Arica	Camarones	7.918.740	442.379
Cachi - Cachi	Arica	Camarones	7.912.362	421.535
Cala-Cala	Arica	Camarones	798.373	429.761
Calachoco	Arica	Camarones	7.917.397	419.294
Calachoco Chico	Arica	Camarones	7.917.383	419.410
Calapajra	Arica	Camarones	7.918.546	428.250
Calle	Arica	Camarones	7.919.376	438.834
Campana	Arica	Arica	7.919.448	379.595
Canal Santa Rosa	Arica	Camarones	7.917.704	417.541
Caqueo Alto	Arica	Camarones	7.915.099	412.745
Caqueo Bajo	Arica	Camarones	7.915.403	412.444
Caqueo Medio	Arica	Camarones	7.915.118	412.734
Casicasco	Arica	Camarones	7.818.992	421.574
Chaco	Arica	Camarones	7.918.842	425.469
Chitita	Arica	Camarones	7.918.478	428.951

Fuente: Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región, AC Ingenieros Consultores Ltda.-DOH. Julio de 2002

Se indica también el área de riego asociada y una breve descripción del acceso de bocatoma. Además en el capítulo 10 se describen los datos técnicos aplicados a un sistema de información geográfico, que la consulta rápida y fácil de la información precedentemente descrita.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

3.8.1.2. Defensas Fluviales

Se identificó 1 tramo de defensa fluvial de 700 m de longitud en el sector de la desembocadura de la quebrada Vítor. Esta defensa se encuentra materializada en enrocados ubicados en ambas riberas.

3.8.1.3. Puentes

Para este valle se identificaran 3 puentes. Uno de ellos corresponde al cruce con la Ruta 5, el segundo se emplaza sobre la Ruta A-37 (antigua Ruta 5) y el tercero se encuentra en el acceso a Codpa, desde la carretera 5 Norte sobre la Ruta A-34.

En el Cuadro3.8.1.3-1 se resumen las principales características de los puentes.

CUADRO 3.8.1.3-1
CATASTRO DE PUENTES EN VALLE DE VÍTOR

Puente	Ubicación			Ruta	Características del Puente			
	Comuna	Coordenadas			Longitud Total (m)	Ancho (m)	Número de Cepas	Número de Pistas
		Norte (m)	Este (m)					
Codpa	Camarones	7.917.900	421.500	A-34	8	5,0	0	2
Chaca	Camarones	7.920.500	378.200	R-5	30	10,4	0	2
Chaquita o Garza	Arica	7.921.500	377.200	A-37	29	5,1	3	2

Fuente: Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región, AC Ingenieros Consultores Ltda.-DOH. Julio de 2002

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

4. CARTOGRAFÍA, TOPOGRAFÍA, PROSPECCIONES E HIDROLOGÍA SITIOS DE EMBALSE

4.1. GENERALIDADES

En este capítulo se presenta un resumen de la cartografía para los sitios de embalse alternativos 1, 2 y 3 (que se definen más adelante en el acápite 5.1, Capítulo 5), las prospecciones y resultados de ensayos, el estudio hidrológico de recursos y crecidas, y un estudio sedimentológico simplificado para los sitios de embalse a analizar que se presentan posteriormente en el Capítulo 5 y en el Plano GN-01.

4.2. TRABAJOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS Y TOPOGRÁFICOS

4.2.1. Levantamiento Aerofotogramétrico

4.2.1.1. Generalidades

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 1.800 há en la zona de Umirpa para el análisis de los sitios de embalses y 2.850 ha en la zona media baja del valle de Codpa 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 47 km, aproximadamente.

Se definieron las siguientes etapas fundamentales para elaborar el trabajo:

- Vuelo Aerofotogramétrico
- Apoyo Topográfico y Control Terrestre
- Estereorestitución Digital
- Edición de Planos Finales

En el Volumen 7: Topografía se da el detalle y resultados del levantamiento Aerofotogramético.

4.2.2. Trabajos Topográficos

4.2.2.1. Introducción

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 Geocen 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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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 los Puntos de Referencia (PRs) entre un Punto de Nivelación del estudio realizado por 4C Consultores Ingenieros[1] denominado como PN 25 y el sector de alternativas de embalse.

- Traslado de coordenadas desde el punto IGM (ubicado en la localidad de Codpa) y de cotas desde el punto PN 25 a los PR's construidos, por medio de una Poligonal Primaria Geodésica de PRs.

- Traslado de cotas y coordenadas desde un punto de la Poligonal Primaria hacia la zona de las alternativas de muros, a partir de una Poligonal Secundaria Geodésica de PRs.

- Radiaciones Geodésicas de PRs, en la zona de estudio.

- Construcción de 66 PRs para desarrollar 7 poligonales en distintos sectores de la zona de estudio, más 3 pares de PRs uno en cada alternativa de muro.

- Nivelación geométrica de los PRs mencionados en el punto anterior.

- Levantamientos de canales y bocatomas, más los sectores de las tres alternativas de muro.

La metodología ocupada en la realización de los trabajos topográfico, ya sea, en la construcción y ubicación de 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 Volumen 7: Topografía se da el detalle y los resultados de los trabajos topográficos realizados en la zona de estudio.

[1] Construcción Protecciones de Predios Agrícolas Quebrada de Vítor. Arica, 2009.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

4.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.3.1. Introducción

La zona de estudio corresponde a una cuenca con alta influencia de las precipitaciones estivales características del Altiplano, donde la escorrentía superficial, producto de estos eventos de precipitación, y el almacenamiento subterráneo tienen un rol importante en la disponibilidad del recurso. Las precipitaciones y los caudales se comportan como valores extremos, con una alta variabilidad anual, por ejemplo entre el 80% y el 90% de las precipitaciones se concentra entre los meses de Diciembre-Marzo, lo que genera que la escorrentía directa se concentre también durante estos meses. El principal objetivo del estudio hidrológico es establecer la disponibilidad del recurso en las distintas zonas de alternativas de embalse en el Sector Umirpa.

Con el fin de determinar la precipitación y el caudal medio en la cuenca se realizó un análisis de la información disponible.

Para determinar la precipitación media de la cuenca se completó la información pluviométrica de 5 estaciones por medio de regresiones lineales y se compararon los resultados con las isoyetas medias anuales de la zona. Luego, con las series rellenadas, se utilizó el método de polígonos de Thiessen. De igual manera se obtuvieron las precipitaciones máximas en 24 hr, pero esta vez se compararon los resultados con las isoyetas máximas en 24 hr elaboradas por la DGA, 1995.

Se dispuso de la estadística fluviométrica de la estación Codpa en Cala-Cala ubicada aguas abajo de la cuenca en estudio, sin embargo, estos registros corresponden sólo al flujo base de la cuenca, ya que la estación no es capaz de registrar caudales altos. De acuerdo a lo anterior se aplicó el siguiente enfoque para determinar la escorrentía total de la cuenca:

E.T. = F. B. + E.D.

Donde:

E.T.: Escorrentía Total (mm)

F.B.: Flujo Base de la Cuenca (mm)

E.D.: Escorrentía Directa que se produce a partir de la precipitación efectiva (mm)

Para estimar el flujo base F.B. se consideró representativa la estadística de la estación Codpa en Cala Cala, mientras que para la escorrentía directa E.D. se utilizaron los registros limnigráficos de la nueva estación Codpa en Cala Cala, que se encuentra operativa a partir del año 2011. Se adaptó y calibraron dos modelos de precipitación-escorrentía,

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

GR1M para estimar el Flujo Base y Curva Numero para estimar la Escorrentía Directa, con el fin de extrapolar los parámetros para la cuenca en estudio.

Si bien se consideraron constantes los parámetros calibrados en la estación fluviométrica de Codpa en Cala-Cala, se espera que la construcción y ubicación de la nueva estación fluviométrica en la zona de embalse Umirpa (ver acápite 4.3.10), permita realizar una verificación de dichos parámetros, con tal de obtener una serie de caudales más representativa del área de estudio.

Por último, se realizó un análisis de los caudales máximos instantáneos asociados a distintos periodos de retorno.

4.3.2. Antecedentes Hidrometeorológicos

En la zona de estudio se cuenta con información regional y de estudios anteriores, tal como se describieron en el Capítulo 3. Se recopilaron registros de precipitación media mensual y máxima en 24 hrs y se reunió información asociada a las estaciones fluviométricas sobre caudales medios mensuales y caudales máximos instantáneos anuales. También se consideró la información disponible por el estudio "Precipitaciones Máximas en 1, 2 y 3 días" (DGA-MOP, 1991) y el Balance Hídrico de Chile (DGA, 1987).

Durante los años 2007 y 2008 un convenio entre la DGA-MOP y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica permitió actualizar las isoyetas de precipitación media anual en las regiones XV, I, II y III del país (2008).

4.3.3. Pluviometría

Se recopiló información de estaciones pluviométricas cercanas a la zona de estudio, que pertenecen al sistema BNA (Banco Nacional de Aguas) de la DGA. En el Cuadro 4.3.3-1 se muestran las estaciones, su respectivo código BNA y ubicación. En la Figura 4.3.3-1 se muestra la ubicación de las estaciones pluviométricas y las sub-cuencas de la zona.

La información proporcionada por estudios regionales se considera como un valor de referencia importante. Entre los principales mapas de isoyetas se encuentran las generadas en el estudio "Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritaria de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II y III, Parte III: Hidrología Regional del Altiplano de Chile" elaborado por el DICTUC para la DGA (2008), y las isoyetas generadas para el anteriormente citado Balance Hídrico (BHCH).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

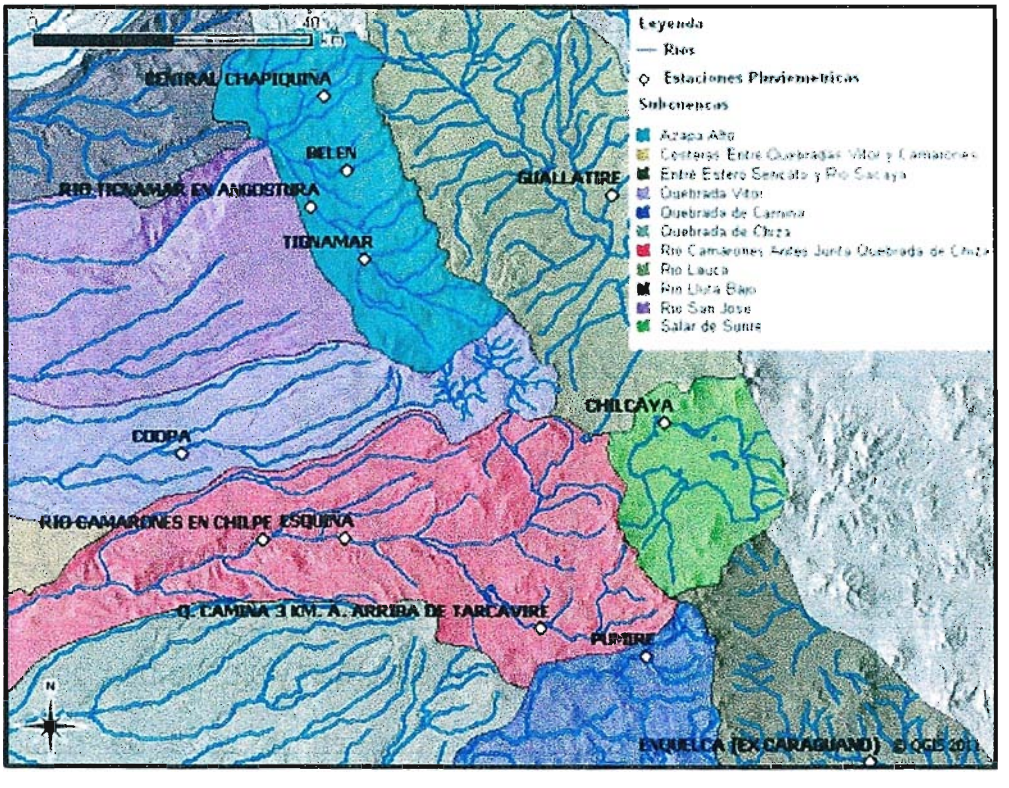
CUADRO 4.3.3-1
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

Código B.N.A.	Estación Pluviométrica	Coordenadas			Información
		UTM Norte (m)	UTM Este (m)	Cota (m.s.n.m.)	
01021007-0	Guallatire	7.954.647	483.666	4240	PpMensual-PpMax24hrs
01030003-7	Chilcaya	7.921.950	491.100	4270	PpMensual-PpMax24hrs
01300008-5	Tignamar	7.945.423	447.886	3230	PpMensual-PpMax24hrs
01410012-1	Codpa	7.917.546	421.622	1870	PpMensual-PpMax24hrs
01502007-5	Esquiña	7.905.516	443.902	2170	PpMensual-PpMax24hrs

Fuente: BNA-DGA

En la Figura 4.3.3-2 se muestran las isoyetas de precipitación media anual en la zona de ubicación de alternativas de embalse. Las isoyetas del estudio DICTUC-DGA consideran un periodo de extensión mayor (1950-2007) que el considerado en el BHCH (1960-1983). En las isoyetas actualizadas se consideraron en total 168 estaciones, ubicadas en Chile, Perú y Argentina.

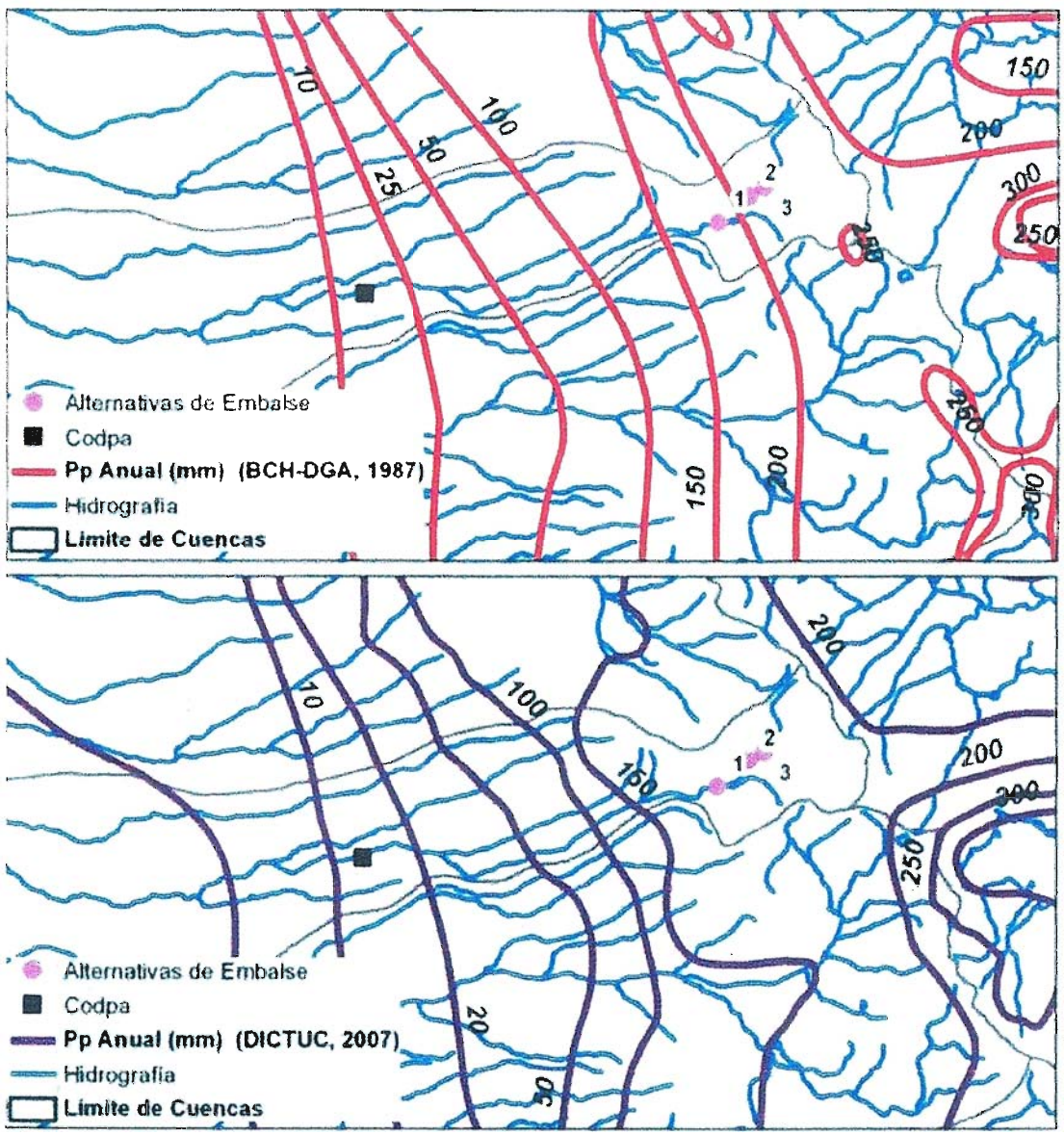
FIGURA 4.3.3-1
UBICACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS



Fuente: Elaboración Propia

La variabilidad espacial de las precipitaciones en la zona da origen a un comportamiento complejo, propio de fenómenos de origen convectivo. Es por ello, que se debe tener especial cuidado en el relleno de series de precipitación, con tal de no afectar la variabilidad propia de la zona, así como también con la metodología para estimar la precipitación media de la cuenca en estudio.

FIGURA 4.3.3-2
ISOYETAS PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL



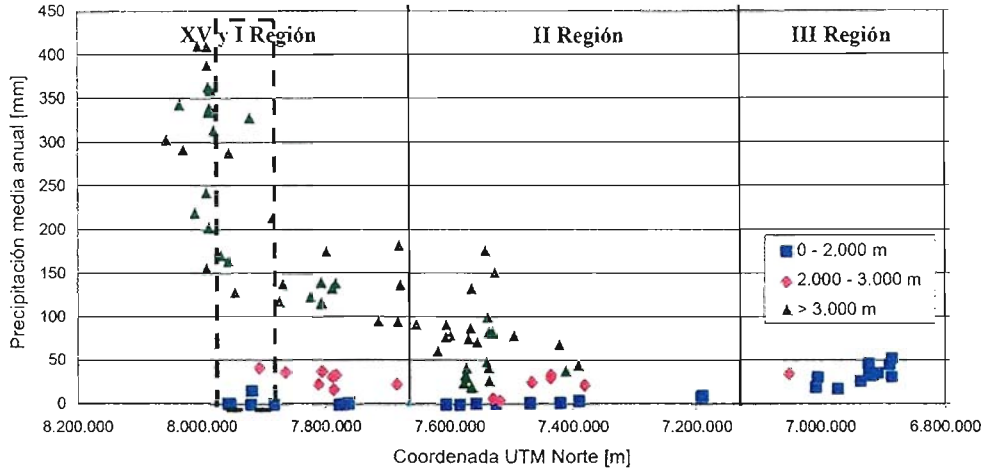
Fuente: Elaboración Propia a partir de BHCH, DGA, 1987 y DICTUC-DGA, 2007

En la Figura 4.3.3-3 se observa que en la zona de estudio, ubicada aproximadamente en la coordenada UTM 7.900.000 Norte (Latitud Sur 18,7°), existe un

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

importante efecto del gradiente de precipitación con la altura, en el que también se incluyen valores nulos en la zona baja del área de estudio.

FIGURA 4.3.3-3
VARIACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO



Fuente: DICTUC-DGA (2008)

En lo que sigue se describe el procedimiento para la estimación de precipitación media y anual en la zona de estudio, así como la precipitación máxima en 24 h.

4.3.3.1. Precipitación Media Mensual y Anual

Para estimar la precipitación media mensual y anual de cada cuenca en estudio se rellenaron y extendieron las series estadísticas mediante los métodos más adecuados utilizados en estudios hidrológicos. En el Cuadro 4.3.3.1-1 se muestra la disponibilidad de información original asociada a las estaciones con registro pluviométrico.

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 el relleno se utilizó un modelo de regresión lineal corregido 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
α: pendiente de la regresión entre la variable Y_1 e Y_2

β: 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
ε: 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

CUADRO 4.3.3.1-1
DIAGRAMA DE BARRAS DE DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Código	Estación	Norte	Este	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
01021007-0	GUALLATIRE	7954647	483666										X	X	X	0	0	X	X	X	X	X	X
01030003-7	CHILCAYA	7921950	491100												0	X	0		X	X	X	X	X
01300008-5	TIGNAMAR	7945423	447886																				
01410012-1	CODPA	7917546	421622		0	π	π		π	X	π	π	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01502007-5	ESQUIÑA	7905516	443902																0	X	X	X	X

Leyenda Meses con Información
X = 12 π > 10 Δ > 7 0 < 7

Código	Estación	Norte	Este	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
01021007-0	GUALLATIRE	7954647	483666	X	X	X	X	X	X	X	X	π	X	X	X	X	X	X	X	π	X	π	π
01030003-7	CHILCAYA	7921950	491100	X	X	X	X	X	X	X	0												X
01300008-5	TIGNAMAR	7945423	447886			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	π
01410012-1	CODPA	7917546	421622	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01502007-5	ESQUIÑA	7905516	443902	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	π

Código	Estación	Norte	Este	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01021007-0	GUALLATIRE	7954647	483666	X	X	X	X	X	X	π	X	X	X	X
01030003-7	CHILCAYA	7921950	491100	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01300008-5	TIGNAMAR	7945423	447886	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Δ
01410012-1	CODPA	7917546	421622	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01502007-5	ESQUIÑA	7905516	443902	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración Propia

Esta metodología de relleno se presenta más en detalle en la Revista SOCHID Vol. 10, Fernández B. y Salas J., 1995, y ha sido ampliamente utilizada en estudios para la Dirección General de Aguas y Dirección de Obras Hidráulicas. La ventaja de este método es que preserva la variabilidad natural que existe originalmente entre ambas series, y no ve afectado su coeficiente de determinación inicial al utilizar directamente el relleno mediante correlación lineal simple.

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 $\sqrt{x}$, Ln (x) y 1/x, que comprimen los valores

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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 = $\sqrt{Pp_1}$

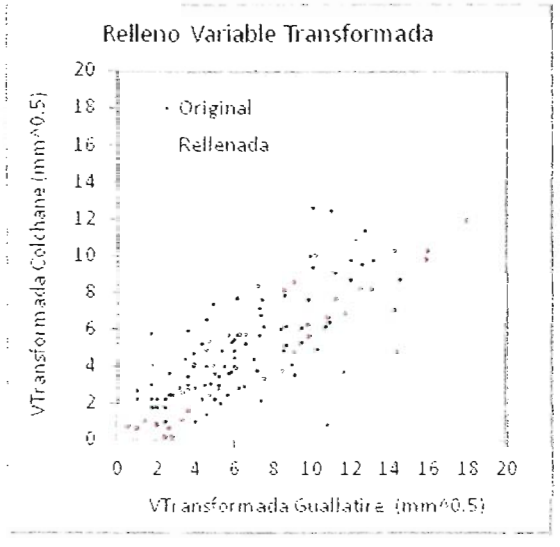
Donde Y1 corresponde a la variable transformada a rellenar y Pp1 al valor de la precipitación registrada por la estación 1. Posteriormente, se rellenó la serie estadística Y_1 y luego se transformó en la serie original. En el Cuadro 4.3.3.1-2 se muestra el resumen de la serie de precipitación, tanto en su forma original como rellenada. En la Figura 4.3.3.1-1 se muestra la figura con la variable transformada original y rellenada. En la Figura 4.3.3.1-2 aparece la comparación de los parámetros estadísticos originales y rellenados. En el Anexo 4-1 se muestra en detalle el relleno de las precipitaciones mensuales mediante método lineal, lineal de la variable transformada con y sin corrección aleatoria.

CUADRO 4.3.3.1-2
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS ORIGINALES Y RELLENADOS

Estación	Precipitación Media (mm)		Desviación (mm)		Coeficiente de Determinación	
	Original	Rellenada	Original	Rellenada	Original	Rellenada
Colchane	10,3	11,9	24,3	25,9	0,606	0,651
Chilcaya	24,3	24,3	47,4	45,5	0,610	0,582
Guallatire	21,3	23,3	38,5	44,9	0,639	0,638
Tignamar	13,3	13,0	34,3	32,5	0,738	0,778
Esquiña	3,46	3,25	10,6	10,0	0,617	0,674

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4.3.3.1-1
VARIABLE TRANSFORMADA ORIGINAL Y RELLENADA



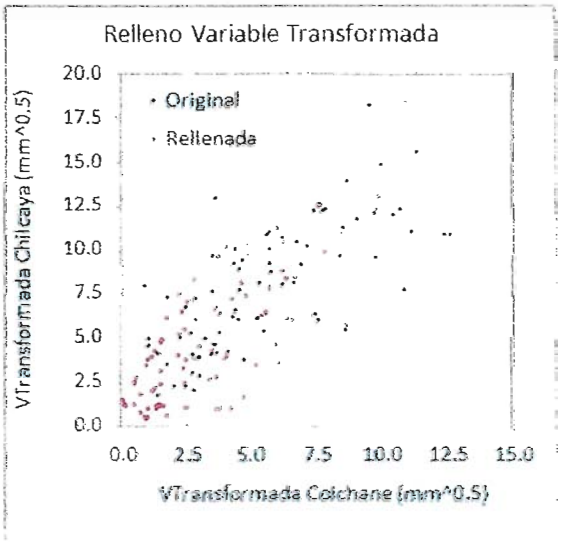
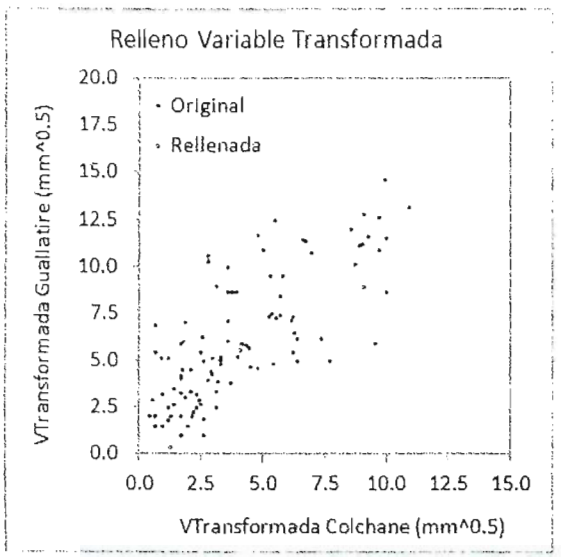
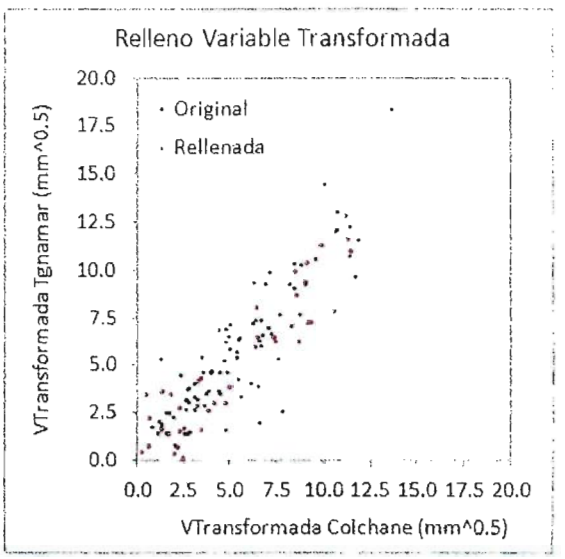
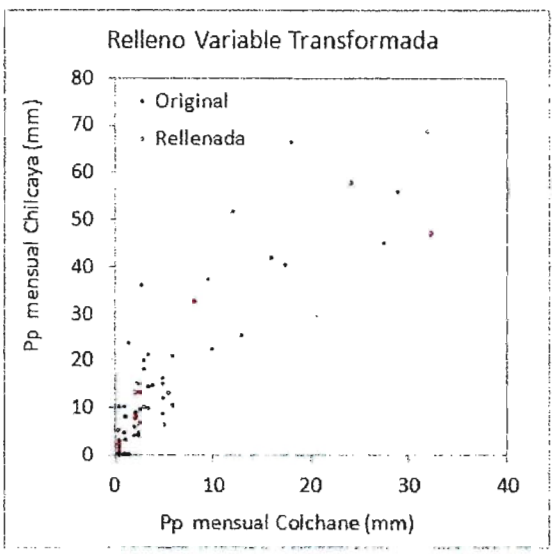


FIGURA 4.3.3.1-1
VARIABLE TRANSFORMADA ORIGINAL Y RELLENADA



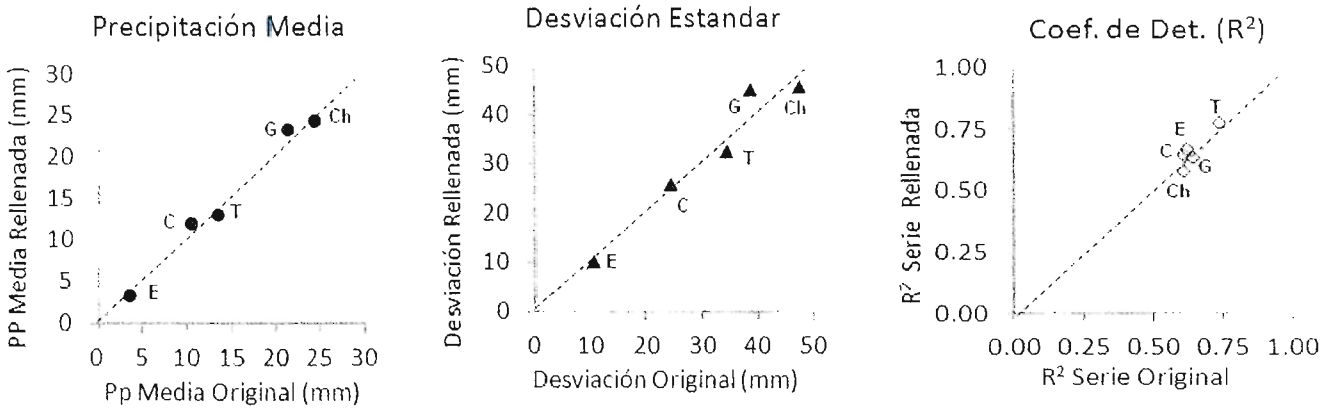




Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.3.1-2
COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE LA SERIE ORIGINAL Y RELLENADA



Fuente: Elaboración Propia

Los gráficos de la Figura 4.3.3.1-2 muestran un buen comportamiento al preservar los principales estadísticos de la muestra y la variabilidad que existe entre la serie original y rellenada. De esta manera se obtuvieron series extendidas y rellenadas, tal como se muestra en el diagrama de barra de la Figura 4.3.3.1-3.

FIGURA 4.3.3.1-3
DIAGRAMA DE BARRA CON SERIES EXTENDIDAS Y RELLENADAS

Código	Estación	Norte	Este	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
01021007-0	GUALLATIRE	7954647	483666										X	X	X	0	0	X	X	X	X	X	X
01030003-7	CHILCAYA	7921950	491100										X	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X
01300008-5	TIGNAMAR	7945423	447886				π	Δ	Δ	Δ	0	Δ	π	X	X	X	π	π	X	π	X	X	π
01410012-1	CODPA	7917546	421622		0	π	π		π	X	π	π	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01502007-5	ESQUIÑA	7905516	443902		0	π	π		π	X	π	π	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Leyenda: Rojo: Año con Relleno, Negro: Original
X = 12 π > 10 Δ > 7 0 < 7

Código	Estación	Norte	Este	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
01021007-0	GUALLATIRE	7954647	483666	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01030003-7	CHILCAYA	7921950	491100	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	π	X	X	X
01300008-5	TIGNAMAR	7945423	447886	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01410012-1	CODPA	7917546	421622	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01502007-5	ESQUIÑA	7905516	443902	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Código	Estación	Norte	Este	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01021007-0	GUALLATIRE	7954647	483666	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01030003-7	CHILCAYA	7921950	491100	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01300008-5	TIGNAMAR	7945423	447886	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01410012-1	CODPA	7917546	421622	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
01502007-5	ESQUIÑA	7905516	443902	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

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

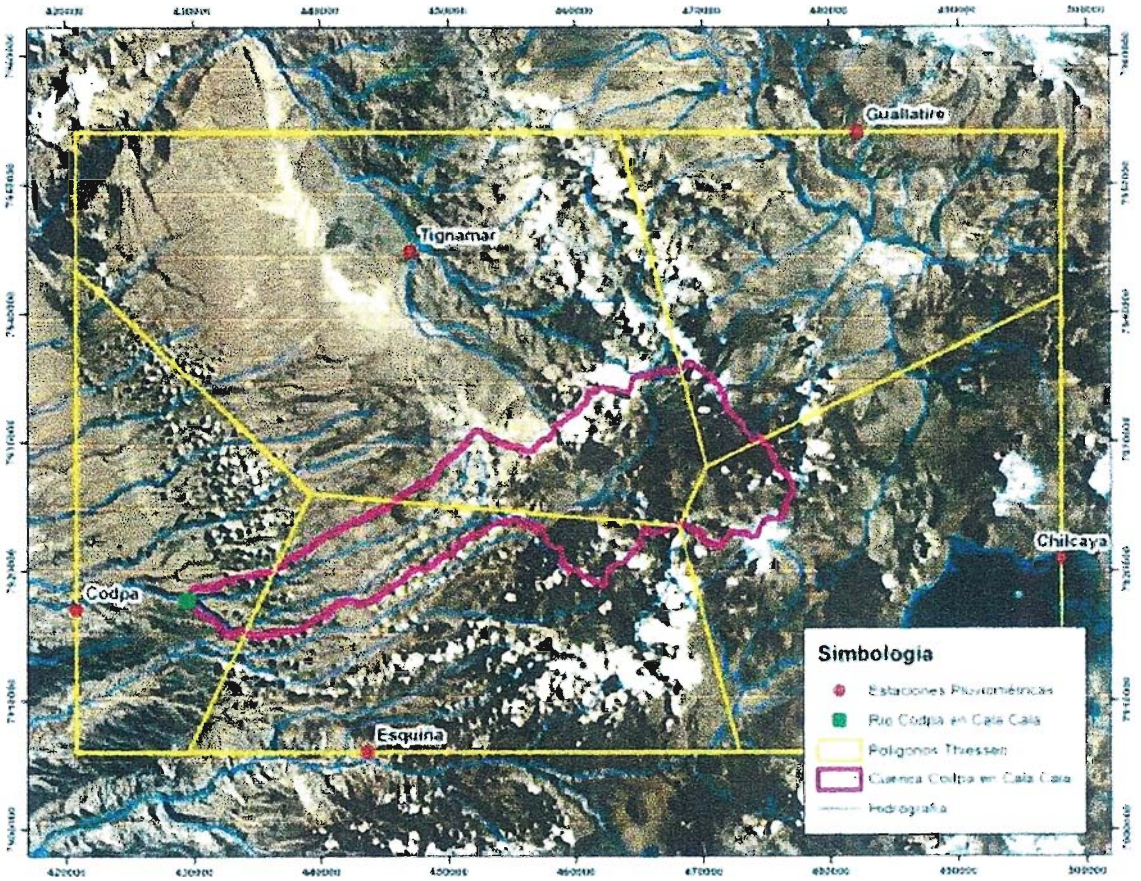
Para obtener la precipitación espacial representativa de la cuenca se trazaron los polígonos de Thiessen correspondientes a la cuenca delimitada por la estación Codpa en Cala-Cala, tal como se muestra en la Figura 4.3.3.1-4, con sus respectivos porcentajes como aparecen en el Cuadro 4.3.3.1-3.

CUADRO 4.3.3.1-3
PORCENTAJE DE ÁREA POLÍGONOS DE THIESSEN ASOCIADO A ESTACIONES CERCANAS

Estación	Guallatire	Chilcaya	Codpa	Tignamar	Esquiña	Total Cuenca
Área (km^2)	0,55	86,36	106,88	160,94	124,36	479
% Área	0,1%	18,0%	22,3%	33,6%	26,0%	100%

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4.3.3.1-4
POLÍGONOS DE THIESSEN

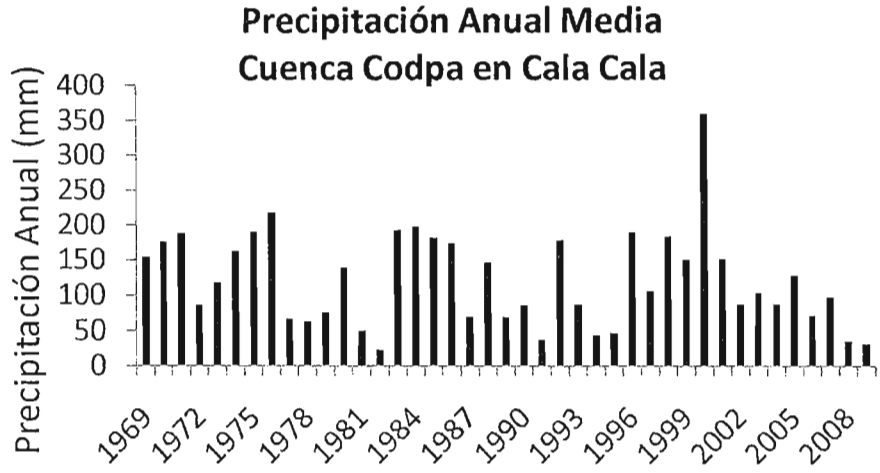


Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

En el Anexo 4-2 se muestra la estimación de la precipitación media de la cuenca, para el método de los Polígonos de Thiessen, a nivel mensual y anual. Según se observa en la Figura 4.3.3.1-5

FIGURA 4.3.3.1-5
SERIE DE PRECIPITACIÓN ANUAL EN CODPA



Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 3.3.3.1-4 se presenta la precipitación media mensual y anual.

CUADRO 4.3.3.1-4
DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIÓN ANUAL

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Anual
1969	1,3	1,4	21	41	54	13	1,0	9,5	1,0	3,0	0,3	0,5	147,0
1970	0,4	1,6	10	36	103	46	0,5	0,7	0,4	1,4	0,4	5,7	206,8
1971	3,7	3,2	15	78	75	36	18,2	0,3	6,7	5,4	3,5	11,7	256,3
1972	0,2	0,0	13	104	115	38	2,1	0,5	0,1	0,8	0,1	1,4	275,5
1973	0,3	2,4	3	69	37	5	0,2	0,0	0,1	1,9	1,2	0,0	119,3
1974	3,3	2,2	61	145	64	7	3,4	0,6	1,8	3,3	16,1	2,5	310,3
1975	0,0	0,9	35	74	64	62	0,7	0,3	2,0	1,3	0,1	0,0	240,1
1976	0,5	0,2	17	75	29	21	0,3	0,5	1,8	4,7	3,9	17,0	169,7
1977	1,9	6,1	31	71	131	32	0,5	2,1	0,2	0,0	0,4	0,7	277,9
1978	0,8	13,6	4	79	9	17	6,0	0,6	0,0	0,2	0,0	0,0	129,7
1979	0,1	0,0	53	57	10	46	0,8	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	167,2
1980	6,2	0,5	1	22	24	46	0,4	2,2	0,0	0,0	0,1	0,0	101,7
1981	0,0	5,5	33	63	80	24	6,9	1,3	0,1	0,1	3,1	0,0	216,7
1982	8,2	7,9	3	31	19	10	1,9	0,0	0,6	0,0	0,0	0,8	82,6
1983	0,0	0,0	8	1	6	4	1,9	0,3	0,0	0,3	0,7	5,0	27,4
1984	13,9	12,8	1	83	120	67	0,4	0,0	16,0	0,0	3,5	0,0	317,7

CUADRO 4.3.3.1-4
DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIÓN ANUAL

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Anual
1985	3,6	10,1	45	37	134	55	10,4	2,6	1,0	0,0	0,5	2,4	301,6
1986	0,0	10,9	48	66	39	44	15,5	0,0	0,0	0,8	9,0	0,0	233,5
1987	8,8	1,4	0	93	40	0	4,0	2,4	9,6	20,9	0,5	2,1	183,4
1988	0,4	0,5	5	37	12	44	9,1	4,2	0,2	0,0	0,0	15,1	126,5
1989	0,0	3,1	10	33	62	35	8,0	0,1	0,6	1,3	0,0	0,3	154,4
1990	3,0	3,9	33	25	12	20	0,1	8,7	6,4	0,7	0,0	4,3	117,4
1991	3,8	3,5	10	82	17	28	1,6	1,0	0,4	0,2	0,7	4,4	152,0
1992	13,0	4,5	33	38	3	7	0,2	2,3	0,7	1,6	0,9	5,2	109,2
1993	0,8	2,0	18	78	5	34	4,2	0,5	4,6	6,6	39,1	0,3	192,5
1994	0,7	0,1	17	33	47	7	10,8	0,9	1,0	4,9	0,3	7,6	130,3
1995	1,1	0,0	6	16	3	25	8,0	0,7	0,7	0,1	0,1	0,2	61,1
1996	3,3	0,0	5	43	34	10	0,6	0,1	2,4	0,2	3,9	1,1	104,5
1997	0,4	7,2	13	68	73	30	1,6	0,0	0,0	0,7	7,6	7,4	208,7
1998	0,5	0,5	10	100	7	4	4,9	0,1	5,7	0,0	0,1	1,4	134,1
1999	4,1	0,0	13	43	102	120	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	293,1
2000	1,6	0,0	13	73	35	29	7,8	1,9	0,0	4,5	0,0	0,0	166,1
2001	0,0	0,5	14	89	134	103	12,5	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	358,7
2002	2,6	4,2	8	17	88	48	4,9	0,0	2,1	18,7	0,0	0,0	194,5
2003	0,0	0,6	5	23	14	66	1,5	4,6	0,0	9,5	0,3	0,0	124,7
2004	0,0	0,0	8	67	80	3	0,0	0,0	0,0	11,7	5,8	0,5	175,1
2005	0,0	1,0	17	39	65	10	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	143,1
2006	1,1	0,8	11	71	40	26	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	150,7
2007	0,0	4,8	3	45	25	23	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	101,4
2008	0,0	1,6	9	71	28	5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	0,0	119,2
2009	0,0	2,6	9	1	23	9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0
Ppm	2,2	3,0	16	57	50	31	4,0	1,2	1,6	2,6	2,8	2,6	173,8
Ppσ	3,4	3,6	15	30	40	26	4,6	2,1	3,2	4,8	6,7	4,2	78,4
Max	13,9	13,6	61	145	134	120	18,2	9,5	16,0	20,9	39,1	17,0	358,7
Min	0,0	0,0	0,2	1,1	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,4

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 4.3.3.1-5 se muestra el porcentaje de precipitación que se concentra durante los meses de Dic-Mar y Abr-Nov.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.3.1-5
DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIÓN ANUAL

Estación	Dic-Mar	Abr-Nov	Dic-Mar	Abr-Nov	Pp Anual (1969-2009)
	mm	mm	%	%	mm
Gualllatire	240,0	28,9	89	11	268
Chilcaya	239,0	49,8	83	17	288
Tignamar	147,0	18,9	89	11	166
Codpa	13,4	1,96	87	13	15
Esquiña	35,8	5,32	87	13	41
Cuenca Codpa en Cala Cala	152,0	21,8	87	13	174

Fuente: Elaboración Propia

De esta forma se obtiene una precipitación media de 174 mm anuales, de los cuales un 87% se concentra entre los meses de Diciembre y Abril. Esto afecta directamente la generación de escorrentía directa, ya que se producirá en gran parte sólo durante estos meses.

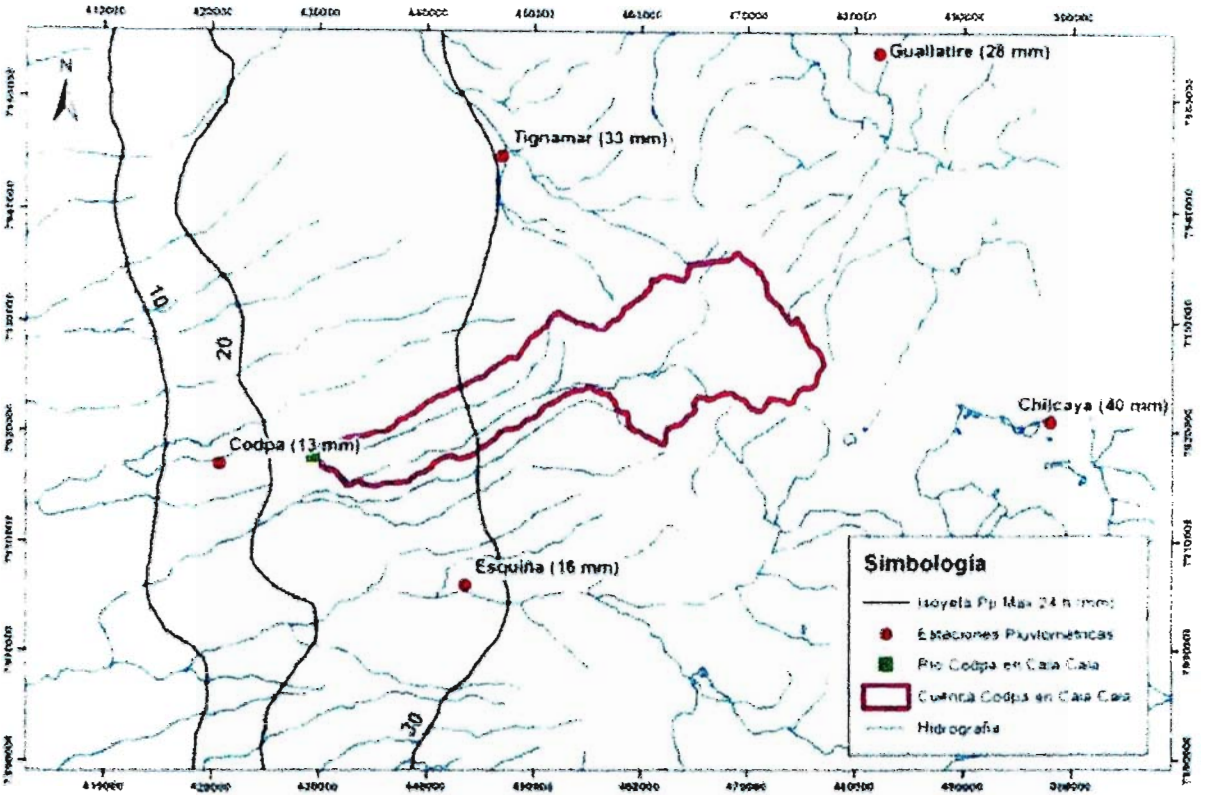
4.3.3.2. Precipitación Máxima en 24 hrs

La precipitación máxima en 24 hrs se obtuvo de la información proporcionada por las isoyetas del libro Precipitaciones Máximas en 24, 48 y 72 hrs de la DGA, 1995, las cuales están asociadas a un periodo de retorno de T=10 años. En la Figura 4.3.3.2-1 se muestran las isoyetas obtenidas de dicho estudio, y la precipitación asociada al ajuste de distribución de probabilidades de las estaciones más cercanas.

Para actualizar el valor de las isoyetas se realizó el análisis de frecuencia a las los datos de las estaciones consideradas, utilizando las distribuciones Normal, Log-Normal, Log-Normal III, Gumbel, Pearson III, Log-Pearson III y Gamma, y se eligió para cada estación la distribución con el mejor ajuste. En el Cuadro 4.3.3.2-1 se muestra la precipitación asociada a diferentes de periodos de retorno. El detalle de los cálculos se adjunta en el Anexo 4-3 Precipitaciones Máximas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.3.3.2-1
SERIE DE PRECIPITACIÓN ANUAL EN CODPA



Fuente: Precipitación Máxima 24 hrs (T=10 años), DGA, y Elaboración Propia

CUADRO 4.3.3.2-1
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HRS (mm)

T (años)	Guallatire	Chilcaya	Tignamar	Codpa	Esquiña
5	25,4	33,8	26,1	9,5	13,8
10	27,8	41,5	33,7	12,8	16,4
50	31,4	58,5	52,2	20,2	21,3
100	32,6	65,6	60,8	23,3	23,0
200	33,6	72,8	69,7	26,3	24,7
1000	35,5	89,3	92,3	33,4	28,1
10000	37,5	112,9	129,6	43,3	32,3

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.3.3.2-1 las precipitaciones máximas en 24 hr (T=10 años) de las estaciones Tignamar y Codpa concuerdan con las isoyetas, con 13 mm y 33 mm diarios respectivamente. Mientras que en la zona de la estación Esquiña las isoyetas sobrestiman la precipitación. Para obtener la precipitación máxima representativa de la cuenca Codpa en

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Cala Cala se utilizó la información de porcentajes de influencia de los polígonos de Thiessen presentadas anteriormente. En el Cuadro 4.3.3.2-2 se muestran los valores para cada periodo de retorno.

CUADRO 4.3.3.2-2
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HRS EN LA CUENCA DE CODPA EN CALA CALA

T (años)	Cuenca Codpa en Cala Cala (mm)
5	19
10	24
20	31
50	35
100	39
200	44
1.000	55
10.000	72

Fuente: Elaboración Propia

4.3.4. Fluviometría

Se recopiló la información de caudales medios mensuales registrados en la cuenca. La única estación con registros fluviométricos en la zona corresponde a la Estación Fluviométrica Codpa en Cala-Cala, tal como se muestra en la Figura 4.3.4-1, donde también aparece la Estación Río Lauca en Japu. En el Cuadro 4.3.4-1 se muestran las estaciones fluviométricas, con su respectivo código BNA y ubicación.

CUADRO 4.3.4-1
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

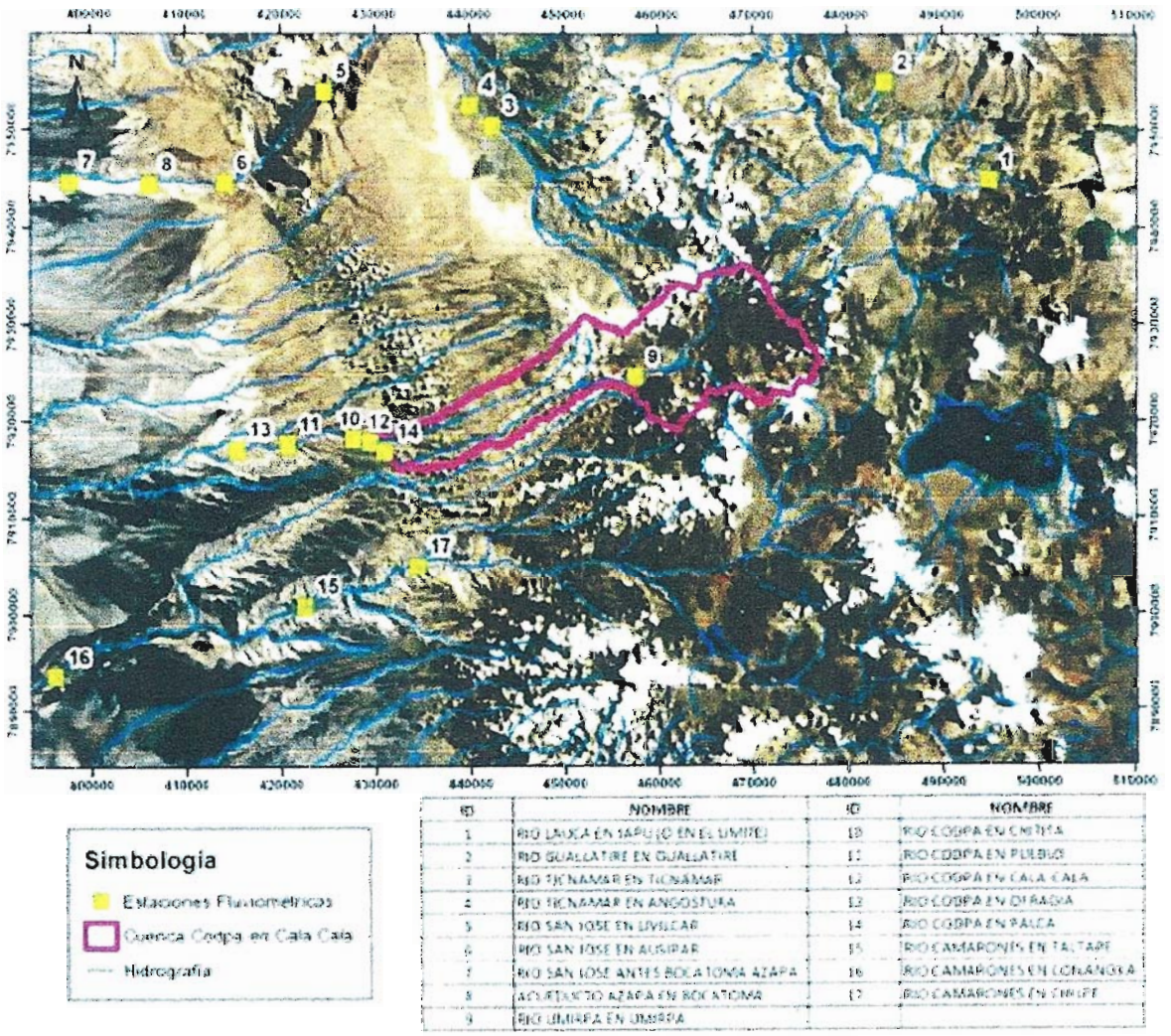
Código B.N.A.	Estación Fluviométrica	Coordenadas			Información
		UTM Norte (m)	UTM Este (m)	Cota (m.s.n.m.)	
01021001-1	R. Lauca en Japu	7.945.249	495.076	4240	Caudal Medio Mensual
01410004-0	R. Copa en Cala-Cala	7.921.950	491.100	4270	Caudal Medio Mensual

Fuente: Elaboración Propia

La estación de Codpa en Cala-Cala ha sufrido deterioros debido a crecidas violentas y repentinas que ocurren producto de precipitaciones estivales en el altiplano. Sus registros provienen de dos tipos de instrumentos: Limnígrafo y Data Logger. Los registros de caudales medios mensuales se obtienen del promedio de valores diarios obtenidos a través del limnígrafo y del promedio horario para el registro obtenido a través del Logger.

La estación fluviométrica presenta una buena medición de caudales medios mensuales en el periodo que no ocurren crecidas, donde el 90% del tiempo los caudales bajos pasa a través de un canal pequeño, mientras que los caudales mayores pasan por una caja de mayores dimensiones, tal como se muestra en la Figura 4.3.4-2.

FIGURA 4.3.4-1
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS



ID	NOMBRE	ID	NOMBRE
1	RIO LAUCA EN APUCO EN EL LIMITE	10	RIO CODPA EN CHIPIA
2	RIO GUALLATIRE EN GUALLATIRE	11	RIO CODPA EN PUEBLO
3	RIO TIGNAMAR EN TIGNAMAR	12	RIO CODPA EN CALA CALA
4	RIO TIGNAMAR EN ANGOSTURA	13	RIO CODPA EN DIRAGUA
5	RIO SAN JOSE EN LIVILCAR	14	RIO CODPA EN PALCA
6	RIO SAN JOSE EN AUSIPAR	15	RIO CAMARONES EN TALTAPE
7	RIO SAN JOSE ANTES BOCATOMA AZAPA	16	RIO CAMARONES EN CONANOSA
8	ACUEDUCTO AZAPA EN BOCATOMA	17	RIO CAMARONES EN CHILPE
9	RIO UMIRPA EN UMIRPA		

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.4-2
ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA RÍO CODPA EN CALA CALA



Fuente: Registro Fotográfico Dpto. Hidrología DGA

Los datos registrados por esta estación se consideran representativos sólo del flujo base de la cuenca porque la capacidad máxima de registro es de 0,55 m que corresponde a 1,2 m^3/s, por lo que se procede a estimar la disponibilidad total del recurso mediante dos componentes: Flujo Base y Escorrentía Directa. Este enfoque permite cuantificar en forma independiente ambos parámetros.

Para estimar el **Flujo Base** se utiliza el modelo GR1A modificado, este modelo es capaz de estimar la disponibilidad del recurso en función de la precipitación que se produce durante el año actual y los años anteriores. El cálculo se realiza mediante una expresión matemática simplificada y eficiente, que se ha aplicado satisfactoriamente en diversos estudios hidrológicos. Para ello se realizaron los siguientes pasos:

Calibración del modelo GR1A modificado.

Utilización de parámetros calibrados para estimar la serie de flujo mensual a partir de la serie de precipitaciones del periodo 1969-2010.

La **Escorrentía Directa** se calculó mediante la calibración del modelo de Curva Numero, para tres meses con registros completos de crecidas (Enero-2011, Febrero -2011 y Enero-2012). Para calibrar el valor de Curva Numero se utilizó la siguiente metodología:

Recopilación de lecturas limnigráficos horarias: a partir del año 2011 se cuenta con los registros limnigráficos de la nueva estación fluviométrica de Codpa en Cala Cala.

Extrapolación de la curva de descarga: Mediante un eje hidráulico y la información de aforos realizados durante el año 2011 por parte de la DGA.
Conversión de alturas limnimétricas a caudal: Al aplicar la curva de descarga, se transformó la información de altura en hidrogramas a nivel horario.

Posteriormente se procedió a separar el volumen de escorrentía directa y flujo base, para los meses de Enero 2011, Febrero 2011 y Enero 2012.
Precipitación horaria registrada por estaciones cercanas.

Calibración de Curva Número para la cuenca definida por la estación fluviométrica Codpa en Cala Cala.

Generación de serie de escorrentía directa a nivel mensual a partir de la serie de precipitaciones mensuales para el periodo 1969-2010.

A continuación se muestran los caudales registrados por la estación Codpa en Cala Cala y se extrapola la curva de descarga de la actual estación fluviométrica.

4.3.4.1. Caudal Medio Registrado por la Estación Codpa en Cala-Cala

Los registros de la estación fluviométrica Codpa en Cala-Cala se rellenaron con la Estación Río Lauca en Japu, debido a la falta de estaciones al interior de la Cuenca Vitor. La metodología de relleno que se utilizó corresponde a la misma aplicada para los registros pluviométricos. En la Figura 4.3.4.1-1 se muestra el diagrama de barra de las estaciones Río Lauca en Japu, y Río Codpa en Cala-Cala. Se debe tener en cuenta que los valores registrados por la estación sólo representan el Flujo Base que genera la cuenca a nivel mensual.

FIGURA 4.3.4.1-1
DIAGRAMA DE BARRA ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

Código	Estación	Norte	Este	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01021001-1	R. Lauca en Japu	7945249	495076	0	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ	X	Δ	Δ	X	Δ	Δ	π	X	π	X	X	X	X	X	0	X	X	Δ	X	π	π	π	X	X
01410004-0	R. Cod. en Cala-Cala	7918163	429727			0	X	X	π	X	X	X	X	X	X	X	Δ	0	X	X	0	Δ	Δ	X	X	π	X	0	X	π	X	X	Δ	π

Leyenda Meses con Información
X = 12 π > 10 Δ > 7 0 < 7

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 4.3.4.1-1 se muestran los parámetros estadísticos de la estación Codpa en Cala-Cala, antes y después del relleno. El análisis se presenta en el Anexo 4-4.

CUADRO 4.3.4.1-1
DIAGRAMA DE BARRA ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

	Q Medio (m^3/s)	Desviación Estándar	R^2
Original	0,134	0,227	0,671
Rellenada	0,139	0,224	0,676

Fuente: Elaboración Propia

□RRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

En la Figura 4.3.4.1-2 se muestra el diagrama de barra con la información original y rellenada. En la Figura 4.3.4.1-3 se muestra la correlación original y rellenada de las variables transformadas de la estación Codpa en Cala-Cala y Japu.

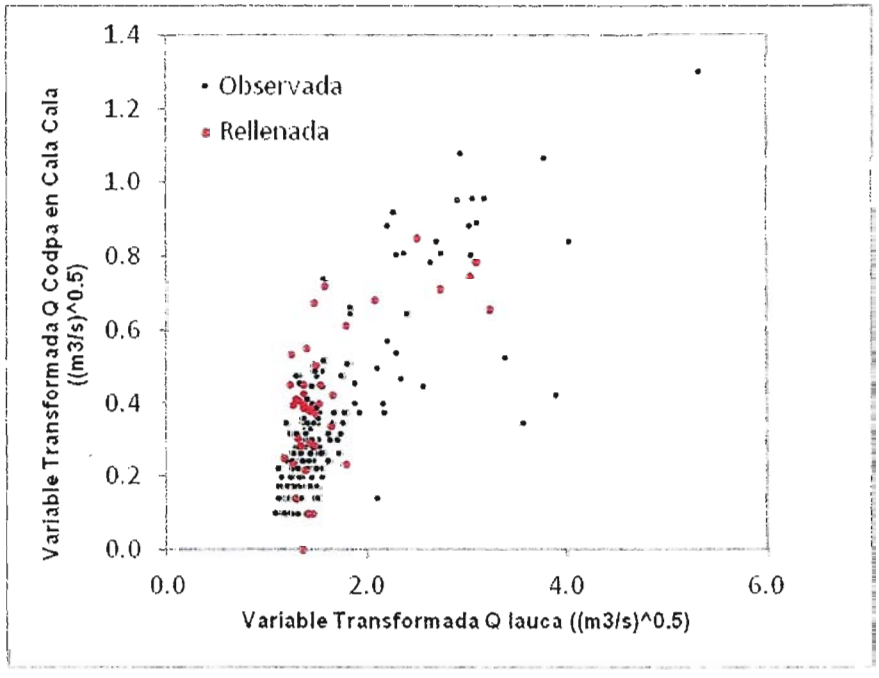
FIGURA 4.3.4.1-2
DIAGRAMA DE BARRA ESTACIONES FLUVIOMÉTRICA RELLENADA

Código	Estación	Norte	Este	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01021001-1	R. Lauca en Japu	7945249	495076	0	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ	X	Δ	Δ	X	Δ	Δ	π	X	π	X	X	X	X	X	0	X	X	Δ	X	π	π	π	X	X
01410004-0	R. Cod. en Cala-Cala	7918163	429727			0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Leyenda: Rojo: Año con Relleno, Negro: Original
X = 12 π > 10 Δ > 7 0 < 7

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4.3.4.1-3
CORRELACIÓN VARIABLE TRANSFORMADA



Fuente: Elaboración Propia

De esta manera se generó la estadística de caudal medio mensual para el periodo 1982-2009. En el Cuadro 4.3.4.1-2 se muestran los caudales medios mensuales, mientras que en la Figura 4.3.4.1-4 se muestra la Curva de Variación Estacional.

CUADRO 4.3.4.1-2
CAUDALES MEDIOS MENSUALES (M^3/S)

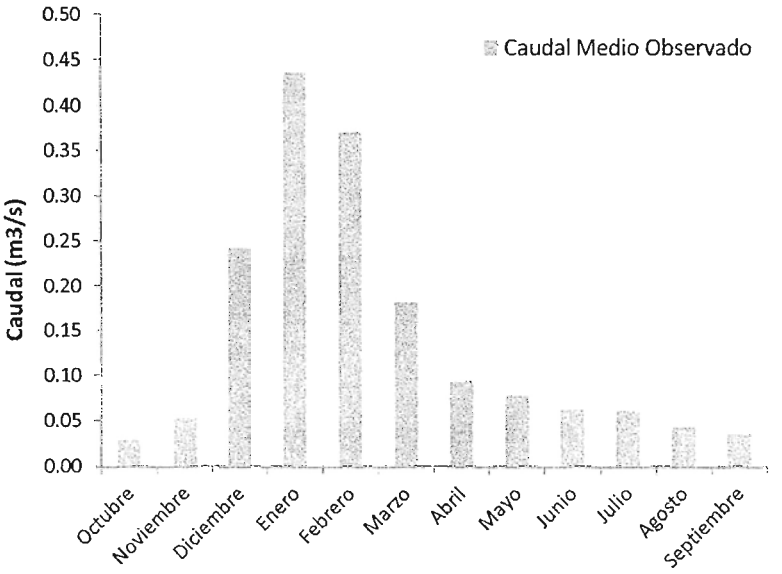
Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Q_{prom}
1982-83	0,03	0,02	0,04	0,04	0,06	0,03	0,04	0,05	0,08	0,05	0,05	0,03	0,04
1983-84	0,03	0,04	0,21	0,91	0,85	0,43	0,25	0,14	0,09	0,08	0,02	0,03	0,26
1984-85	0,05	0,03	0,04	0,65	0,73	0,52	0,31	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,22
1985-86	0,05	0,21	0,78	0,71	0,61	0,23	0,14	0,07	0,05	0,10	0,05	0,03	0,25
1986-87	0,05	0,09	0,92	0,66	0,23	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,20
1987-88	0,03	0,01	0,14	0,14	0,14	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,02	0,07
1988-89	0,01	0,03	0,04	0,58	0,31	0,20	0,09	0,08	0,05	0,03	0,03	0,02	0,12
1989-90	0,01	0,02	0,04	0,06	0,06	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04
1990-91	0,02	0,08	0,29	0,12	0,33	0,07	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,10
1991-92	0,03	0,02	0,07	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
1992-93	0,03	0,16	0,20	0,06	0,16	0,09	0,08	0,08	0,06	0,18	0,05	0,04	0,10
1993-94	0,02	0,13	0,08	1,07	0,11	0,30	0,19	0,00	0,00	0,05	0,05	0,03	0,17
1994-95	0,04	0,03	0,07	0,03	0,23	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06
1995-96	0,03	0,03	0,06	0,09	0,05	0,05	0,04	0,05	0,08	0,06	0,10	0,08	0,06
1996-97	0,04	0,10	0,16	0,27	0,12	0,09	0,12	0,02	0,02	0,06	0,05	0,02	0,09
1997-98	0,02	0,02	0,55	0,25	0,77	0,54	0,00	0,10	0,07	0,04	0,02	0,02	0,20
1998-99	0,02	0,01	0,03	0,12	1,14	0,75	0,12	0,15	0,08	0,02	0,01	0,01	0,20
1999-00	0,01	0,02	0,65	1,17	0,92	0,24	0,12	0,07	0,05	0,03	0,03	0,02	0,28
2000-01	0,01	0,01	0,62	1,70	0,18	0,02	0,30	0,21	0,12	0,09	0,06	0,03	0,28
2001-02	0,01	0,03	0,02	0,44	0,80	0,42	0,04	0,08	0,10	0,05	0,03	0,01	0,17
2002-03	0,01	0,01	0,02	0,15	0,12	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,07	0,05
2003-04	0,06	0,03	0,25	0,71	0,04	0,04	0,01	0,09	0,08	0,03	0,04	0,03	0,12
2004-05	0,02	0,04	0,07	0,28	0,22	0,13	0,11	0,12	0,11	0,08	0,07	0,04	0,11
2005-06	0,04	0,03	0,23	0,70	0,56	0,26	0,05	0,10	0,09	0,08	0,05	0,03	0,19
2006-07	0,04	0,03	0,20	0,23	0,42	0,17	0,13	0,13	0,12	0,13	0,10	0,12	0,15
2007-08	0,08	0,12	0,66	0,24	0,09	0,03	0,04	0,06	0,05	0,12	0,03	0,06	0,13
2008-09	0,02	0,03	0,10	0,27	0,78	0,02	0,04	0,07	0,04	0,01	0,01	0,01	0,12
2009-10	0,01	0,05	0,03	0,15	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,02		0,04
Qmedio	0.029	0,052	0,242	0,436	0,371	0,183	0,095	0,078	0,063	0,061	0,043	0,037	0,141
Desv.	0.018	0,051	0,266	0,415	0,333	0,195	0,083	0,045	0,029	0,038	0,024	0,024	0,076
Max	0.080	0,210	0,920	1,700	1,140	0,752	0,310	0,210	0,120	0,180	0,100	0,120	0,279
Min	0.010	0,010	0,020	0,030	0,020	0,020	0,000	0,001	0,005	0,010	0,010	0,010	0,038

Fuente: Elaboración Propia

Los caudales registrados en la estación muestran caudales medios que no superan los 450 L/s, los caudales máximos ocurren entre los meses de Diciembre y Marzo. Durante el resto del año el flujo base y el aporte subterráneo tiene gran importancia para los caudales medios. En el Cuadro 4.3.4.1-3 se muestra la distribución mensual de la escorrentía anual, considerando cinco divisiones de año: muy húmedo, húmedo, normal, seco y muy seco, en que la separación se realizó mediante los percentiles 100%-80%, 80%-60%, 60%-40%, 40%-20% y 20%-0%, respectivamente.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.4.1-4
CAUDALES MEDIOS REGISTRADOS POR LA ESTACIÓN CODPA EN CALA CALA



Fuente: Elaboración Propia

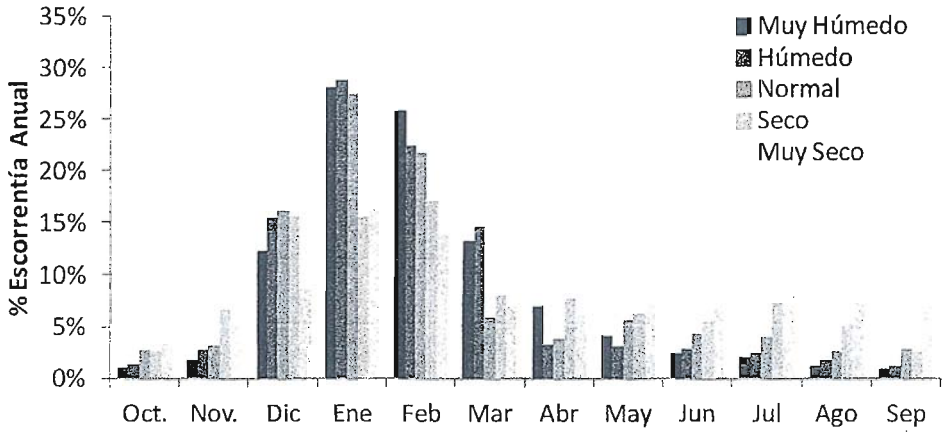
CUADRO 4.3.4.1-3
DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA ESCORRENTÍA BASE A NIVEL ANUAL

Mes	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept
Muy Húmedo (0,8-1,0)	1,0%	1,8%	12,2%	28,1%	25,8%	13,3%	7,0%	4,1%	2,5%	2,0%	1,2%	0,9%
Húmedo (0,6-0,8)	1,2%	2,8%	15,4%	28,8%	22,4%	14,5%	3,3%	3,1%	2,9%	2,5%	1,7%	1,2%
Normal (0,4-0,6)	2,7%	3,1%	16,1%	27,4%	21,6%	5,8%	3,9%	5,6%	4,3%	4,0%	2,6%	2,9%
Seco (0,2-0,4)	2,6%	6,7%	15,5%	15,6%	17,1%	7,9%	7,8%	6,3%	5,4%	7,3%	5,1%	2,6%
Muy Seco (0,0-0,2)	3,7%	5,0%	8,6%	16,3%	13,9%	7,0%	6,8%	7,3%	8,2%	8,0%	7,6%	7,6%

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.3.4.1-5 se muestra el grafico de la distribución mensual de la escorrentía anual, se observa que los años húmedos se concentra la precipitación entre los meses de Diciembre y Marzo, mientras que para los años secos se presenta una distribución más pareja, en la que el flujo base y la capacidad de almacenamiento subterráneo de la cuenca tiene mayor relevancia.

FIGURA 4.3.4.1-5
DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL FLUJO BASE ANUAL



Fuente: Elaboración Propia

El caudal medio anual en la Estación Codpa en Cala-Cala corresponde a 138 L/s, proveniente de 479 km^2. Se obtiene una producción específica de 0,29 L/s/km^2, que se procede a verificar mediante la comparación de producción específica registrado por estaciones fluviométricas de cuencas vecinas y una estimación preliminar de la demanda de riego histórica.

En el Cuadro 4.3.4.1-4 se muestra la información de caudal y producción específica del Balance Hídrico de Chile, realizado con estadística entre los años 1960 -1987.

CUADRO 4.3.4.1-4
PRODUCTIVIDAD ESPECÍFICA SEGÚN BALANCE HÍDRICO

Estación	Área (km^2)	Caudal Medio (L/s)	Producción Especifica (L/s/km^2)
R. S. José ant. Can. Azapa	1.180	700	0,59
Qda. Codpa en Cala-Cala	479	120	0,25
R. Camarones en Conanoxa	2.107	520	0,24

Fuente: Balance Hídrico de Chile (1989)

Se observa que la producción específica estimada en este estudio para Codpa en Cala de 0,29 L/s/km, durante el periodo 1982-2009, se encuentra en un rango razonable con respecto los caudales registrados en la zona.

Otra forma de verificar corresponde a cuantificar en forma preliminar la demanda histórica que ha tenido la zona. Para ello se realizó una estimación del área de riego aguas abajo de la Estación Codpa en Cala-Cala, tal como se muestra en el Cuadro 4.3.4.1-5.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.4.1-5
ÁREA DE RIEGO Y TASA PRELIMINAR ASOCIADO A LA CUENCA VITOR

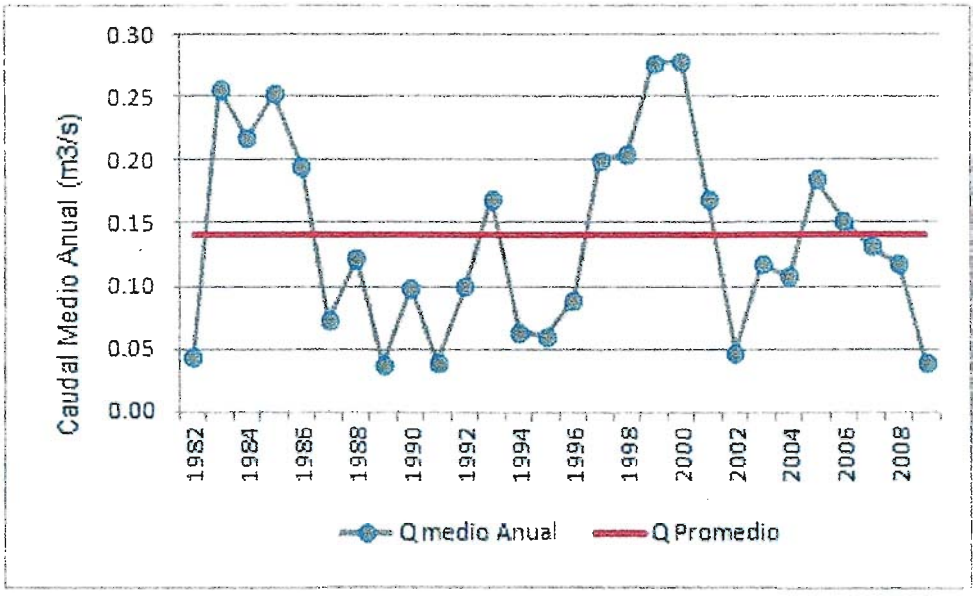
Sector	Área de Riego (ha)	Tasa (L/s/ha)	QDda (L/s)
Área bajo Estación Codpa en Cala-Cala (Incluye Chaca, pero no Caleta Vítor)	221	0,58	129

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el caudal asociado a la demanda histórica aguas abajo de la estación Codpa en Cala Cala (Q= 129 L/s) no supera el caudal medio registrado en dicha estación (Q= 138 L/s), por lo que no se detecta alguna inconsistencia mediante este método de verificación.

La serie de caudal medio anual se muestra en la Figura 4.3.4.1-6, en la que se observa que el máximo no supera los 300 L/s. Este valor sólo representa el flujo base disponible en la cuenca.

FIGURA 4.3.4.1-6
SERIE DE CAUDAL MEDIO ANUAL REPRESENTATIVO DEL FLUJO BASE



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

4.3.4.2. Curva de Descarga estación Codpa en Cala Cala

La curva de descarga de la estación fluviométrica de Codpa en Cala Cala sólo se encuentra disponible para altura de hasta 0,55 m. La nueva estación tiene una altura máxima de 2 m y un ancho de 4 m, y se cuenta con los registros limnigráficos a nivel horario de los meses de Enero-2011y Febrero-2011 y Enero-2012. La altura durante estos meses supera los 0,55 m, sin embargo la estación no es capaz de registrar estos valores, por lo que se generó un modelo Hec-Ras considerando ambas secciones de aforo: Primera sección, corresponde a un canal de 0,3 m de altura y 0,4 m de ancho, esta sección está diseñada para captar el 90 % del tiempo los caudales que pasan por la estación. La Segunda Sección corresponde a un cajón grande en el que ingresan las crecidas que pasan por la estación, teniendo como un máximo de nivel de registro 2 m.

CUADRO 4.3.4.2-1
CURVA DE DESCARGA VIGENTE AL 30-01-12 PARA PEQUEÑOS CAUDALES

Altura	Caudal	Altura	Caudal	Altura	Caudal	Altura	Caudal
m	m^3/s	m	m^3/s	m	m^3/s	m	m^3/s
0,00	0,00	0,08	0,01	0,16	0,06	0,24	0,11
0,01	0,00	0,09	0,01	0,17	0,06	0,25	0,12
0,02	0,00	0,10	0,02	0,18	0,07	0,26	0,13
0,03	0,00	0,11	0,02	0,19	0,08	0,27	0,14
0,04	0,00	0,12	0,03	0,20	0,09	0,28	0,15
0,05	0,00	0,13	0,04	0,21	0,09	0,29	0,15
0,06	0,01	0,14	0,04	0,22	0,10	0,30	0,16
0,07	0,01	0,15	0,05	0,23	0,11		

Fuente: Sección de Hidrometría, DGA

CUADRO 4.3.4.2-2
CURVA DE DESCARGA VIGENTE AL 30-01-12 PARA CAUDALES MAYORES A 0,3 m

Altura	Caudal	Altura	Caudal	Altura	Caudal	Altura	Caudal
m	m^3/s	m	m^3/s	m	m^3/s	m	m^3/s
0,30	0,16	0,37	0,26	0,44	0,52	0,51	0,91
0,31	0,17	0,38	0,29	0,45	0,57	0,52	0,99
0,32	0,18	0,39	0,31	0,46	0,62	0,53	1,06
0,33	0,19	0,40	0,34	0,47	0,68	0,54	1,13
0,34	0,2	0,41	0,38	0,48	0,73	0,55	1,20
0,35	0,21	0,42	0,46	0,49	0,79		
0,36	0,24	0,43	0,47	0,50	0,84		

Fuente: Sección de Hidrometría, DGA

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Se observa que la curva vigente al 30-01-12 solo registra caudales hasta 1,2 m^3/s, por lo que se procede a extrapolar los caudales en crecida mediante un eje en Hec-Ras considerando la sección transversal de la estación. En el Anexo 4-4 Hec-Ras, se muestra el perfil transversal. En el Cuadro 4.3.4.2-3 se muestra la altura y el caudal obtenido para cada simulación. En la Figura 4.3.4.2-1 se muestra la sección transversal y las diferentes alturas simuladas.

CUADRO 4.3.4.2-3
CAUDAL VS ALTURA MODELADO SEGÚN HEC-RAS

Altura	Caudal
m	m^3/s
0,45*	0,58
0,52	1,00
0,70	2,50
0,93	5,00
1,13	7,50
1,29	10,00
1,60	15,00
1,88	20,00
2,13	25,00

Fuente: Elaboración Propia, *: Valor Medido de Q por la DGA para 0,45 m es 0,57 m^3/s.

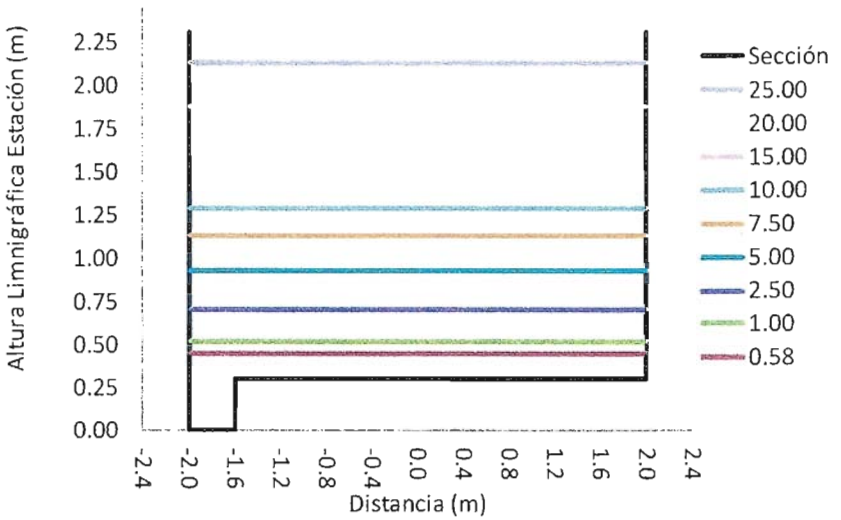
CUADRO 4.3.4.2-4
CAUDAL VS ALTURA MODELADO SEGÚN HEC-RAS

Q	Cota de Fondo de Canal	Cota de Lámina de Agua	Altura	Nivel de Energía	Pendiente Línea de Energía	Velocidad	Froude
(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	
0,58	0,05	0,50	0,450	0,53	0,0011	0,79	0,59
1	0,05	0,57	0,520	0,62	0,0012	0,99	0,63
2,5	0,05	0,75	0,700	0,86	0,0013	1,44	0,70
5	0,05	0,98	0,930	1,16	0,0015	1,88	0,74
7,5	0,05	1,18	1,130	1,42	0,0015	2,19	0,76
10	0,05	1,34	1,290	1,65	0,0016	2,44	0,77
15	0,05	1,65	1,600	2,06	0,0017	2,81	0,78
20	0,050	1,93	1,880	2,42	0,0018	3,11	0,78
25	0,05	2,18	2,130	2,76	0,0019	3,35	0,78

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

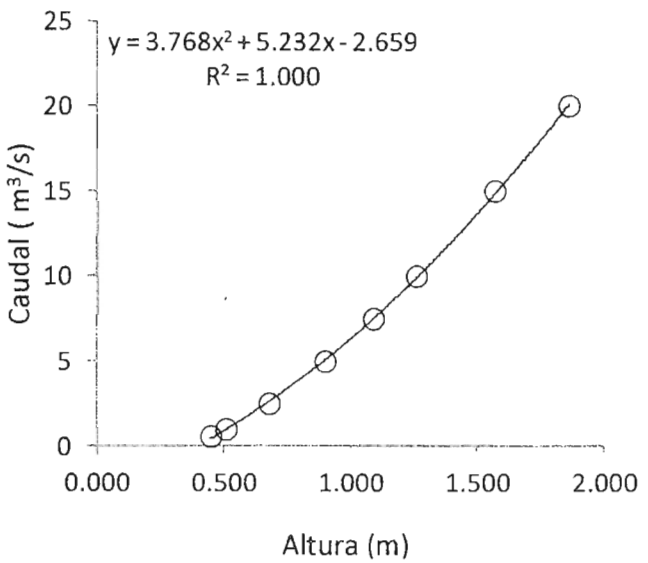
FIGURA 4.3.4.2-1
SECCIÓN TRANSVERSAL Y ALTURA ASOCIADA A DIFERENTES CAUDALES (m^3/S)



Fuente: Elaboración Propia

El único valor que calibrado en la zona alta corresponde al valor asociado para 0,45 m, en el que se registro un caudal de 0,57 m^3/s en un aforo de la DGA, mientras que en el modelo Hec-Ras se obtuvo un caudal de 0,58 m^3/s m para esta misma altura. En la Figura 4.3.4.2-2 se muestra la curva extrapolada

FIGURA 4.3.4.2-2
CURVA DE DESCARGA EXTRAPOLADA CON HEC-RAS PARA CAUDALES ALTOS



Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Con la Curva de Descarga de la DGA presentada en los Cuadros 4.3.4.2-1 y 3.3.4.2-2 y la Curva extrapolada mostrada en la Figura 4.3.4.2-2 es posible transformar las alturas limnigráficos para caudales altos, que no superen los 2 m de altura de la estación, que corresponden a 25 m3/s. Con esta información es posible transformar las lecturas de altura horaria disponible de la nueva estación fluviométrica de Codpa en Cala Cala durante los meses Enero-2011, Febrero-2011 y Enero-2012. Dichos registros se utilizaron en el acápite 4.3.6 para la estimación de la escorrentía directa.

4.3.5. Estimación de Flujo Base

Se utilizó un modelo hidrológico concentrado, para estimar el flujo base del río, considerando constantes los parámetros ajustados a la cuenca delimitada por la estación fluviométrica Río Codpa en Cala-Cala.

La zona de estudio corresponde a una zona con una alta variación de caudales, donde la mayor parte del tiempo se registran valores muy bajos. La estadística fluviométrica da cuenta de una cuenca de régimen pluvial donde la componente de las precipitaciones altiplánicas, que se originan entre los meses de noviembre-marzo, generan la mayor parte de la escorrentía anual. El caudal restante en los meses posteriores a las precipitaciones altiplánicas está directamente relacionado con la capacidad de almacenamiento subterráneo y el flujo base de la cuenca.

La unidad de investigación en hidrología del Cemagref-Antony (Francia), desarrolló una serie de modelos precipitación–escorrentía llamados modelos "GR", que hacen referencia a un conjunto de modelos Genio-Rurales, considerados como herramientas simples y de gran alcance. Los modelos GR han evolucionado en sus diferentes versiones como el GR1A, GR2M y GR4J, donde el número indica la cantidad de parámetros a calibrar y la última letra se asocia al paso de tiempo (sigla en francés): J (diario), M (mensual) y A (anual).

El modelo seleccionado corresponde al modelo GR1A, es decir, el modelo a nivel anual. En primer lugar el modelo fue calibrado, y luego se transformó la serie de caudal simulado de nivel anual a nivel mensual usando la distribución de caudales registradas en la estación fluviométrica Codpa en Cala-Cala. La aplicación de este modelo permite simular correctamente los caudales medios a nivel anual y generar series en aquellas zonas en que no se posee información. La justificación de utilizar el modelo a una escala temporal anual corresponde a la dificultad que existe en calibrar estos modelos a nivel mensual, considerando que la incertidumbre asociada a caudales muy bajos puede ser muy alta.

Para la aplicación del modelo se requiere información de precipitación, evaporación y registros fluviométricos concurrentes en la estación Codpa en Cala-Cala. La información corresponde a series de registros anuales, mientras que para distribuir el caudal estimado a nivel mensual se requiere de la información de caudal a nivel mensual en la estación Codpa en Cala-Cala.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El modelo original GR1A, es un modelo global que funciona a una escala de tiempo anual, y que depende sólo de un parámetro. Este modelo se concibió en cuencas de régimen pluvial en condiciones diferentes a la zona de estudio por lo que se propone una modificación para lograr una mejor estimación de los caudales medios anuales, en los que la representación del flujo base es el principal objetivo. En el Cuadro 4.3.5-1 se muestra el modelo original y modificado, donde Q (mm) y P (mm) representan el caudal medio anual y la precipitación anual asociado a la cuenca.

CUADRO 4.3.5-1
MODELO GR1A ORIGINAL Y MODIFICADO

Modelo GR1A Original	Modelo GR1A Modificado
$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{0.7P_k + 0.3P_{k-1}}{X.E_k} \right)^2 \right]^{0.5}} \right\}$	$Q_k = \gamma \cdot P_k^{\alpha} \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\beta_k P_k + \beta_{k-1} P_{k-1} + \beta_{k-2} P_{k-2}}{X.E_k} \right)^2 \right]^{0.5}} \right\}$

Fuente: Mouelhi et al., 2006 y modificación propia propuesta por el consultor.

Donde:

Q_k : Caudal Medio Anual del año k (mm)
P_k : Precipitación Anual del año k (mm)
E_k : Evapotranspiración Potencial del año k (mm)
X : Parámetro que influye en la relación precipitación /evaporación del año k

En un principio el único parámetro del modelo a calibrar corresponde a X, que representa el porcentaje de evaporación real que ocurre en la cuenca. El parámetro de memoria del modelo, que representa la relación con la precipitación de un año anterior, corresponde a:

$$0.7P_k + 0.3P_{k-1}$$

Este término induce un 70% de importancia la precipitación que ocurre en el año k y un 30% de la precipitación caída el año k-1. La modificación se plantea con el objetivo de modelar caudales en Zonas Áridas con Influencia Importante de Flujo Base y alta variación de precipitaciones, es por ello que el término de memoria se extiende a dos años posteriores, quedando de la siguiente forma:

$$\beta_k P_k + \beta_{k-1} P_{k-1} + \beta_{k-2} P_{k-2}$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Donde los nuevos parámetros considerados corresponden a:

Parámetro β_k: permite mejorar la estimación del flujo base e influencia de la precipitación del año k en el caudal del año actual. La importancia de este parámetro esta principalmente asociada al efecto regulador en cuencas con un importante flujo base y acumulación subterránea.
Parámetro α y γ: este parámetro mejora la estimación en zonas donde las precipitaciones ocurren con distribución aleatoria no uniforme, concentrando valores extremos (bajos y altos). La aplicación de una transformación de variable permite mejorar la estimación del flujo, es por ello que se propone una transformación no lineal, que permita eliminar la asimetría negativa de los datos. El exponente α permite realizar este ajuste.

Inicialmente en el modelo original los nuevos parámetros poseen el siguiente valor:

α y γ : Precipitación no transformada (ambos igual a 1,0)

β_k : Factor que mide el porcentaje representativo de la precipitación del año k (0,7 para k y 0,3 para k-1)

Se calibraron las variables X, α, γ y β, para la Cuenca Umirpa considerando la estadística anual disponible. En el Anexo 4-5 se muestra el modelo calibrado para las distintas alternativas.

El indicador de ajuste del modelo utilizado corresponde al coeficiente de Nash-Suctlife (1970) definido como:

$$N.S. = 1 - \frac{\Sigma(Q_{SIM} - Q_{OBS})^2}{\Sigma(Q_{OBS} - Q_{MEDIOOBS})^2}$$

Donde:

N.S. = Coeficiente de Nash-Suctlife que varía entre -∞ y 1. El máximo valor de ajuste corresponde a 1.

Q_{SIM} = Caudal Simulado

Q_{OBS} = Caudal Observado

$Q_{MEDIOOBS}$ = Promedio de los caudales observados

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Según la tasa de riego preliminar del valle (0,58 L/s/ha) y el área de riego aguas arriba de la estación Codpa en Cala Cala (25 ha), se estima un caudal de riego de 15 L/s, por lo que se suma este valor a los registros de la estación fluviométrica Codpa en Cala-Cala.

Para obtener el valor de Q en mm se divide por el área total de la cuenca y se distribuye anualmente, lo mismo se hizo para el caudal de riego considerado.

El valor base de 1291 mm de la evapotranspiración utilizada en el modelo, se obtuvo de la publicación "Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración en Chile", 2000, realizada por la CNR. Este valor se corrigió dependiendo si el año es muy húmedo, húmedo, seco o muy seco utilizando el F.C.Evap. (Factor de Corrección de la Evapotranspiración). Dicho parámetro es calibrado por el modelo para que el valor puntual de la evapotranspiración represente el total del espacio de la cuenca. Se aplica de la siguiente forma:

Año Muy Húmedo: E_k*(1- 2*F.C.Evap)
Año Húmedo: E_k*(1- F.C.Evap)
Año Seco: E_k*(1+ F.C.Evap)
Año Muy Seco: E_k*(1+ 2*F.C.Evap)

Se calibró el modelo mediante la función de Solver de Excel, logrando ajustar los valores del Cuadro 4.3.5-2 asociados a un valor del coeficiente de Nash-Suctlife igual a 0,626.

CUADRO 4.3.5-2
PARÁMETROS MODELO GR1A MODIFICADO

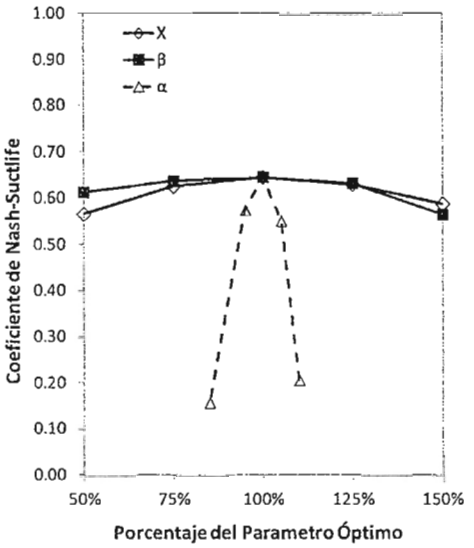
Parámetro	Valor
F.C.Evap.	0,14
γ	0,87
X	-3,95
β_1	0,00
α	0,55
β_2	0,66
β_3	0,34

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un análisis de sensibilidad de los parámetros X, β y α, en el que se observó que el parámetro α, asociado a la normalización y suavización de la precipitación corresponde al parámetro más sensible, mientras que β corresponde al parámetro menos sensible, tal como se muestra en la Figura 4.3.5-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.5-1
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD GR1A MODIFICADO



Fuente: Elaboración Propia

El efecto de incluir un año más en la memoria del modelo asociado al a precipitación ocurrida en el periodo k-2, permite mejorar la estimación. La aplicación de este modelo permite verificar que el caudal medio de la cuenca tiene una alta influencia del almacenamiento subterráneo, donde las precipitaciones ocurridas en años anteriores tienen gran relevancia. En el Cuadro 4.3.5-3 se muestra el caudal promedio observado y simulado, se observa que en promedio el modelo tiene un buen comportamiento, donde la desviación estándar disminuye, sub-estimando caudales altos y sobreestimando caudales bajos. En la Figura 4.3.5-2 se muestra el gráfico con las series de entrada de Precipitación, y los caudales simulados y observados a nivel anual para todo el periodo de modelación.

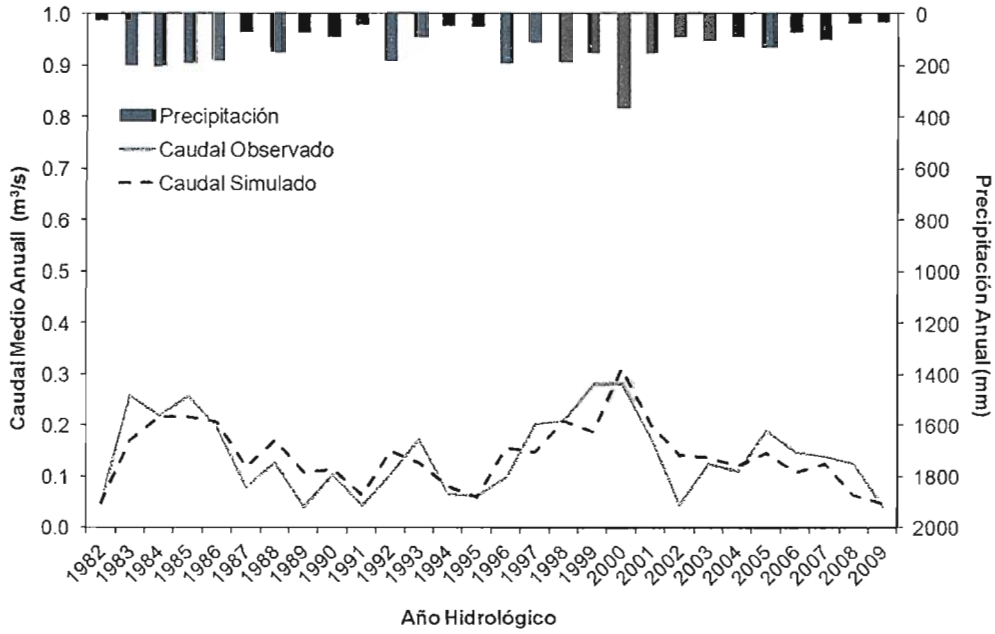
CUADRO 4.3.5-3
CAUDAL MEDIO SIMULADO Y MODELADO

Variable	Observado	Simulado
Q_{medio} (m^3/s)	0,139	0,142
σ	4,9	3,9

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

FIGURA 4.3.5-2
CAUDAL MEDIO ANUAL SIMULADO Y OBSERVADO

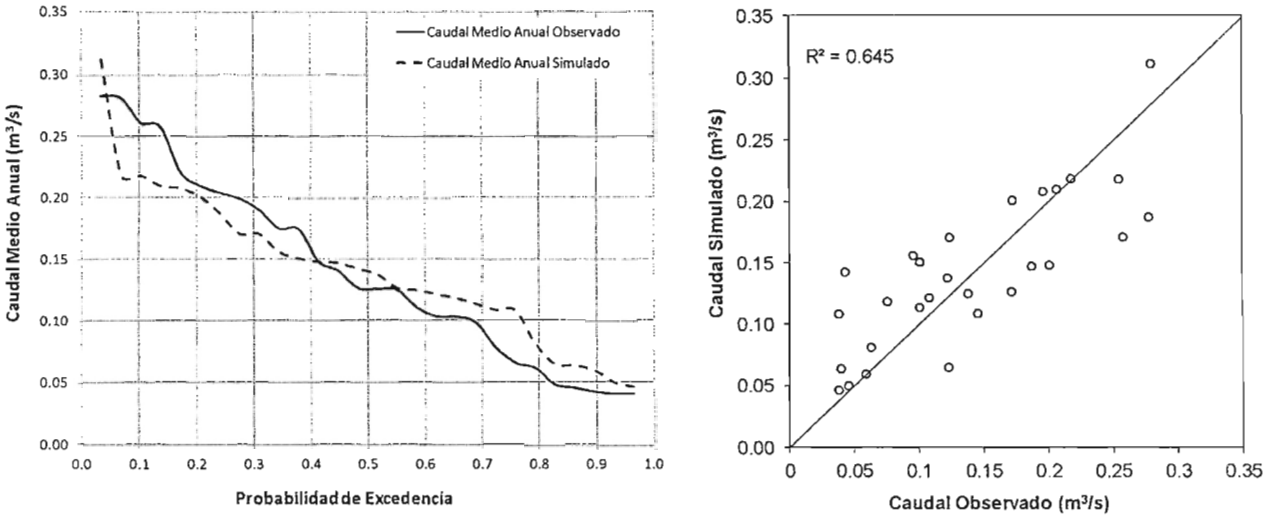


Fuente: Elaboración Propia

Se observa un buen comportamiento del modelo, representando un alza en aquellos años húmedos y una disminución para los caudales bajos. En general se comporta de forma aceptable, teniendo en cuenta que la transformación de precipitación a escorrentía envuelve variables complejas, difíciles de cuantificar en la zona. En la Figura 4.3.5-3 se muestra la curva de duración anual y el gráfico de correlación entre los caudales medios anuales observados y simulados. Con estos valores y los porcentajes del Cuadro 4.3.4.1-3 se procedió a distribuir de forma mensual los caudales (de acuerdo al tipo de año: Seco, húmedo, etc.), obteniendo la serie mostrada en la Figura 4.3.5-4 y la curva de variación mensual respectiva. Se observa una leve subestimación del inicio de la curva entre los meses de Octubre y Febrero, mientras que la curva de recesión se observa levemente sobreestimada.

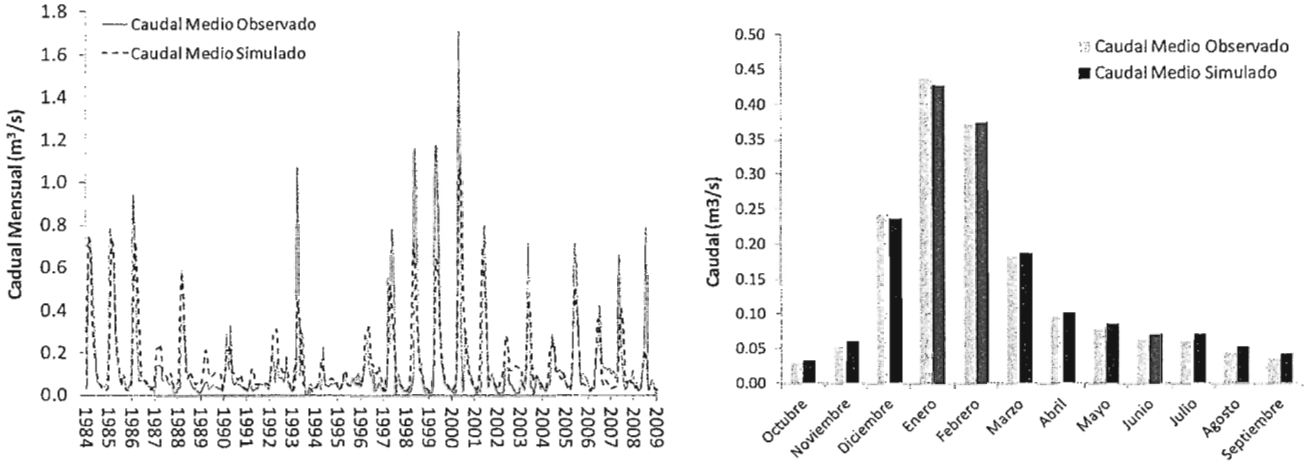
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.3.5-3
CURVA DE DURACIÓN Y CORRELACIÓN ENTRE CAUDALES OBSERVADOS Y SIMULADOS



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4.3.5-4
SERIE DE CAUDAL MEDIO MENSUAL Y CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL



Fuente: Elaboración Propia

De este modelo se concluye que el modelo precipitación-escorrentía aplicado satisface el comportamiento general de la serie de caudales de Codpa en Cala-Cala (1982-2009), permitiendo extender la serie durante todo el periodo que se poseen registros pluviométrico (1962-2009) considerando constantes los parámetros ajustados del modelo GR1A-modificado.

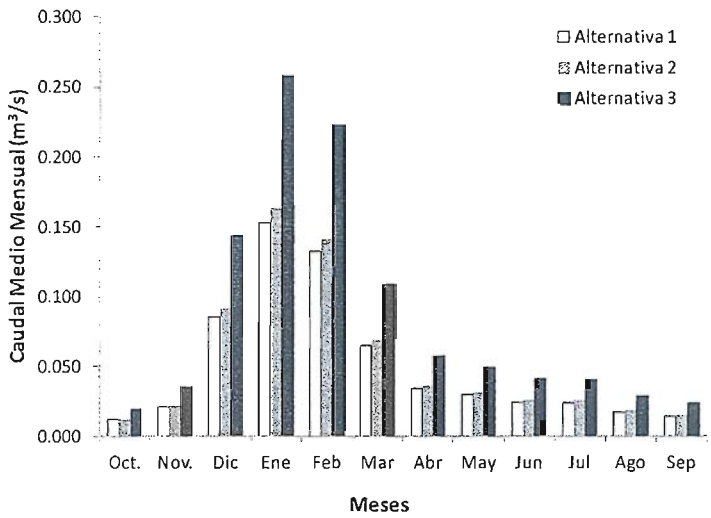
Para generar las series asociadas a las alternativas de embalse 1, 2 y 3, se utiliza el área y la precipitación representativa de cada cuenca indicadas en el Cuadro 4.3.5-4. En la Figura 4.3.5-5 se muestra la curva de variación mensual para cada alternativa.

CUADRO 4.3.5-4
SERIE DE CAUDAL MEDIO MENSUAL Y CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL

Cuenca	Área	Evaporación (mm)	Factor Corrección Pp	PpMedia (mm)
Alt1	205	1242	1,52	180
Alt2	127	1242	1,56	185
Alt3	118	1242	1,58	188

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4.3.5-5
FLUJO BASE MENSUAL
PARA DISTINTAS ALTERNATIVAS EMBALSE UMIRPA



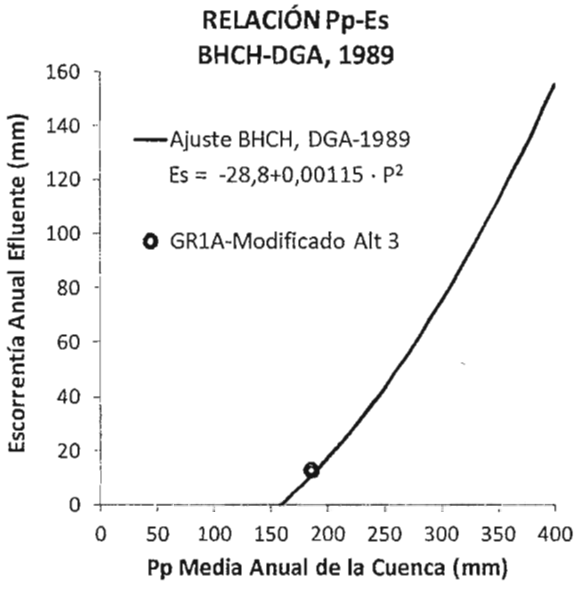
Fuente: Elaboración Propia

Se observa que los caudales de la Alternativa 3 presentan los mayores valores del recurso. Para verificar este valor de caudal medio se utilizó la relación de precipitación-escorrentía promedio anual para las cuencas de la zona alta, según el Balance Hídrico de Chile, DGA, tal como se muestra en la Figura 4.3.5-6.

El caudal estimado mediante la relación generalizada de precipitación escorrentía en la zona es muy similar al obtenido mediante la aplicación del Modelo GR1A-Modificado, por lo que se verifica en términos globales la representatividad del modelo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.5-6
RELACIÓN PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA XV Y I REGIÓN



Verificación:

P =186 mm

$E_{S\ BHCH-DGA}$ = 10,7 mm

$E_{S\ GR1A-Mod}$ = 13,1 mm

$Q_{BHCH-DGA}$ = 0,071 m^3/s

$Q_{GR1A-Mod}$ = 0,086 m^3/s

Fuente: Balance Hídrico, DGA, 1989.

De esta manera se verifica mediante la relación de precipitación-escorrentía de la DGA, 1987, que el modelo aplicado presenta un buen comportamiento a nivel medio anual.

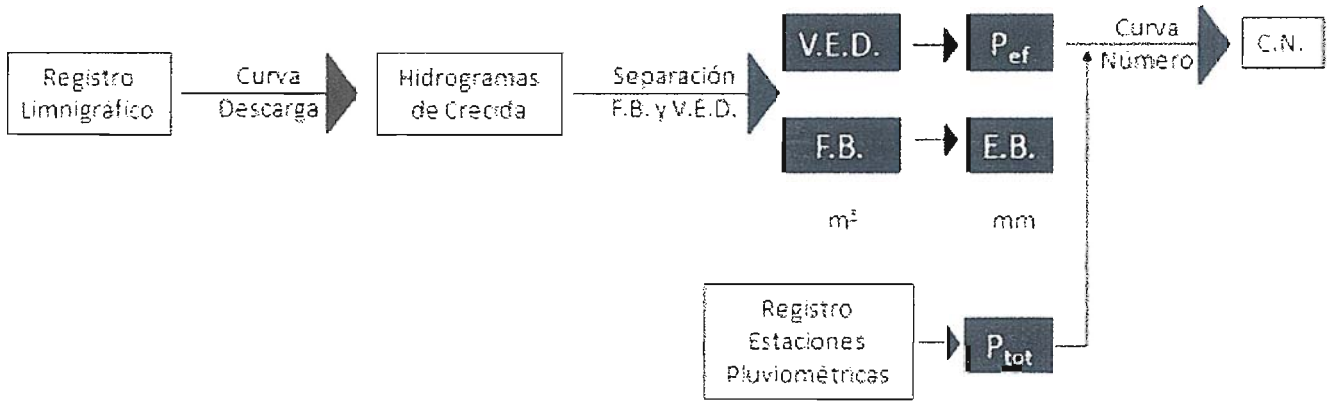
4.3.6. Estimación de Escorrentía Directa

La escorrentía directa se obtuvo mediante la separación del flujo base y el volumen de escorrentía directa de los hidrogramas estimados en la estación fluviométrica a partir de los registros de altura y la curva de descarga extrapolada para dicha estación. La información disponible corresponde a los meses de Enero-2011, Febrero 2011 y Enero-2012, meses en los cuales ha estado operativa la nueva estación de Codpa en Cala Cala con una sección regular uniforme.

Para la obtención de la Escorrentía Directa se calibró el valor de curva número asociada a los meses con registro fluviométrico. Luego se procedió a adoptar un Valor de Curva Número representativo para obtener una serie de Precipitación Efectiva mensual a partir de la precipitación total registrada en la estación Codpa en Cala Cala. El valor de Curva Número calculado se consideró representativo de las tres alternativas de ubicación de embalse. El análisis se encuentra en el Anexo 4-6.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

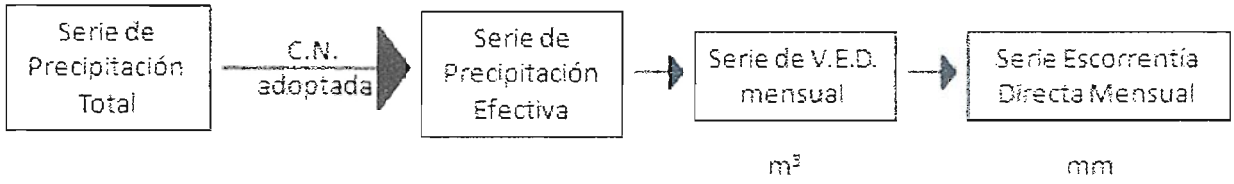
FIGURA 4.3.6-1
DIAGRAMA DE OBTENCIÓN DE C.N. PARA CADA MES CON REGISTROS



Fuente: Elaboración Propia

Luego de calcular la C.N. asociada a cada mes con registro se adopta un valor para generar la serie de escorrentía Directa Mensual, tal como se muestra en la Figura 4.3.6-2.

FIGURA 4.3.6-2
DIAGRAMA DE GENERACIÓN DE ESCORRENTÍA DIRECTA MENSUAL



Fuente: Elaboración Propia

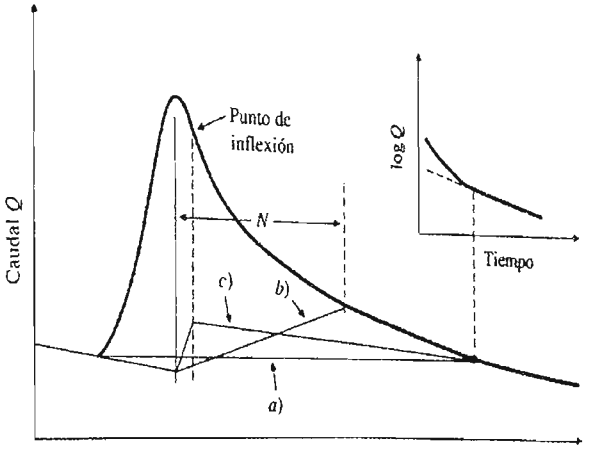
A continuación se muestra el proceso de separación de Flujo Base y Escorrentía directa y posteriormente la generación de las series mensuales de escorrentía directa asociada a cada alternativa de embalse.

4.3.6.1. Separación Flujo Base y Escorrentía Directa

En la Figura 4.3.6.1-1 se muestran las técnicas de separación de Flujo Base y Escorrentía Directa más utilizadas en estudios hidrológicos según el libro de Hidrología Aplicada V.T. Chow:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.6.1-1
TÉCNICAS DE SEPARACIÓN DE FLUJO BASE



a) Método de la línea recta
b) Método del flujo base fijo
c) Método de la pendiente variable

Fuente: V.T. Chow, Hidrología Aplicada, 1994.

El método utilizado para este análisis corresponde al método de la línea recta. De esta forma al obtener el volumen de escorrentía directa es posible determinar la precipitación efectiva. La relación que existe entre el volumen de escorrentía directa y la precipitación efectiva queda determinada por la siguiente expresión:

$$P_e = \frac{V_{ED}}{A_{Cuenca} * 10^3}$$

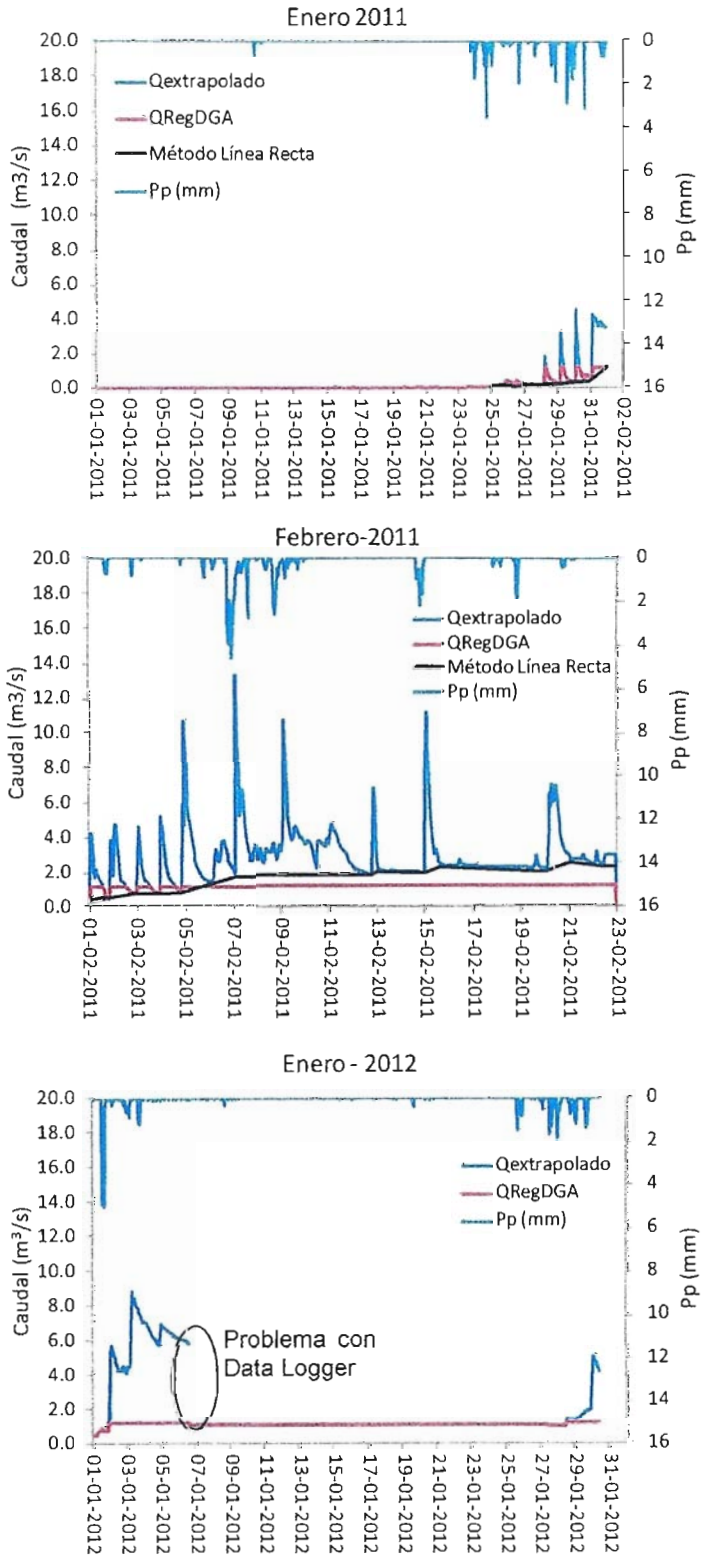
Donde:

V_{ED}:	Volumen de Escorrentía Directa (m³)
P_e:	Precipitación Efectiva (mm)
A_{Cuenca}:	Área de la Cuenca (km²)

En la Figura 4.3.6.1-2 se muestra los Hidrogramas y la separación del Flujo Base y Escorrentía Directa. En el caso de Enero 2011 se observa que el caudal registrado por la DGA fue el máximo (1,2 m3/s), debido a la limitación de la curva de descarga, mientras que el caudal estimado mediante la extrapolación de esta curva corresponde a 8 m3/s. En el Anexo 4-6 se muestra en detalle la separación de la escorrentía directa y el flujo base para los meses con información.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.3.6.1-2
HIDROGRAMAS CODPA EN CALA CALA



Fuente: Elaboración Propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

4.3.6.2. Calibración de Método Curva Número

Al estimar el Volumen de Escorrentía directa es posible calcular la Precipitación Efectiva y por consiguiente la CN asociada a cada mes que se cuenta con hidrogramas completos: Enero-2011, Febrero-2011 y Enero-2012.

La Precipitación Efectiva de una tormenta está directamente relacionada con la capacidad de almacenamiento de la cuenca, la retención máxima y el caudal producido. El modelo de precipitación escorrentía de Curva Numero relaciona la Precipitación Total y la Precipitación efectiva, considerando un parámetro que está asociado a la capacidad de retención e infiltración de la cuenca.

La abstracción inicial, I_a, para el modelo Curva Número se define de forma empírica 0,2·S. Por lo que se considera válida la expresión sólo cuando la precipitación total supera el valor de la abstracción inicial.

$$Pe = \frac{(P - 0{,}2 \cdot S)^2}{P + 0{,}8 \cdot S}$$

Donde:

Pe : precipitación efectiva (mm)

P : precipitación (mm)

S : retención potencial máxima (mm).

El parámetro CN queda definido como:

$$CN = \frac{25400}{S + 254}$$

Donde:

S : retención potencial máxima (mm).

CN : Curva Número

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el Cuadro 4.3.6.2-1 se muestran los grupos de Condición de Humedad Antecedente AMC (Antecedent Moiture Condition)[2] según la precipitación antecedente. Para condiciones seca (i) y condiciones húmedas (iii), los valores de curva número se relacionan de la siguiente forma con los valores de CN en condiciones normales (ii)

$$CN(I) = \frac{4{,}2 \cdot CN(II)}{10 - 0{,}058 \cdot CN(II)} \quad ; \quad CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0{,},13 \cdot CN(II)}$$

CUADRO 4.3.6.2-1
CLASIFICACIÓN DE CONDICIONES DE HUMEDAD

	Precipitación caída 5 días antes (mm)	
Grupo AMC	Estación Latente	Estación de crecimiento
I	<12,7	<35,6
II	12,7-27,9	35,6-53,3
III	>27,9	>53,3

Fuente: SCS, 1972.

En el Cuadro 4.3.6.2-2 aparecen los valores de la retención potencial máxima calculada para cada evento. Según los valores de precipitación antecedente y los valores de CN obtenido se consideran representativos de un valor de CN(I), por lo que a partir de este valor se procedió a calcular los valores de CN(II) y CN(III).

CUADRO 4.3.6.2-2
CURVAN NÚMERO CALCULADA EN CODPA EN CALA CALA

		Ene-11	Feb-11	Ene-12
E_{sTotal}	mm	1,2	11,6	10,8
$E_{sFlujoBase}$	mm	0,7	4,7	6,1
$P_{pEfectiva}$	mm	0,5	7,0	4,6
V_{ED}	hm^3	0,26	3,33	2,22
P_{pTotal}	mm	39,1	65,6	58,0
S	mm	149	149	147
CN (I)	-	63,0	63,1	63,3
CN (II)	-	80,2	80,3	80,4
CN (III)	-	90,3	90,3	90,4

Fuente: Elaboración Propia.

[2] Ven Te Chow

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Se adoptó un valor de Curva Número en condición normal, CN(II), igual a 80. Este valor se considera representativo para generar la serie de precipitación efectiva. En el Cuadro 4.3.6.2-3 se muestra el valor de curva número asociado a distintas condiciones de humedad, la retención potencial máxima y la abstracción inicial. Es importante hacer notar que este valor de curva número fue calibrado para tres meses en condición seca, por lo que los valores se ajustan a volúmenes de escorrentía menor que en condiciones normal y húmeda, por este lado se puede asegurar que se está optando por el lado de la seguridad en cuanto a la generación de caudales en la zona de estudio.

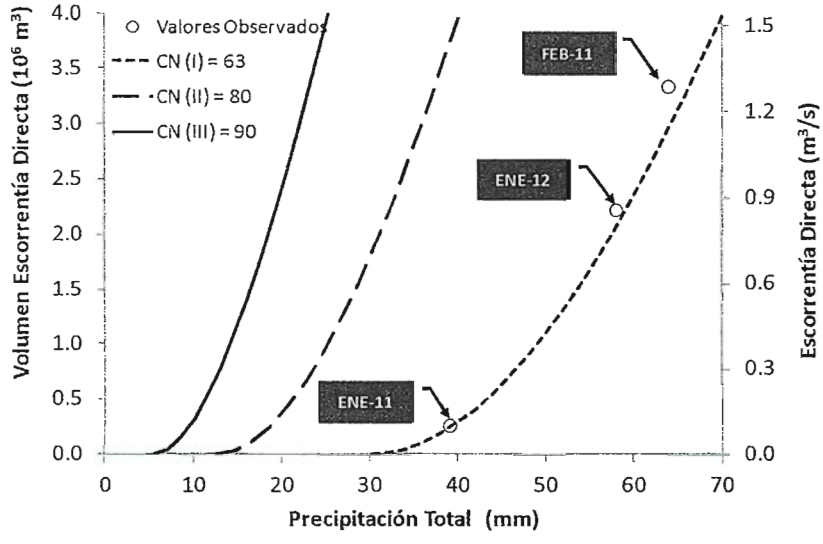
CUADRO 4.3.6.2-3
CURVAN NÚMERO ADOPTADA

	Condición Humedad		
	I	II	III
CNAdoptada	63	80	90
S	151	64	28
Ia	30	13	6

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 4.3.6.2-1 se muestran las curvas asociadas a cada condición de humedad, en la que los valores observados corresponden a la condición más seca, se observa que para los tres meses en estudio la curva presenta un buen ajuste.

FIGURA 4.3.6.2-1
CALIBRACIÓN CURVA NÚMERO ESTACIÓN CODPA EN CALA CALA



Fuente: Elaboración Propia.

Las curvas que generan mayor caudal corresponden a las curvas de condición normal y húmeda, por lo que se recomienda calibrar estos valores para otros futuros con más información, a medida que la nueva estación Codpa en Cala-Cala registre otros eventos. El valor de CN obtenido se considera constante para las distintas ubicaciones de embalse.

En el Cuadro 4.3.6.2-4 se presenta la Escorrentía Directa considerada por kilometro cuadrado.

CUADRO 4.3.6.2-4
ESCORRENTÍA DIRECTA (MM/KM^2)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
1980-1981	0,0	0,0	0,0	10,4	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1
1981-1982	0,0	0,0	1,0	13,0	76,7	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	103,2
1982-1983	0,0	0,0	0,0	8,3	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3
1983-1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1984-1985	0,0	0,0	0,0	26,2	126,7	61,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	214,4
1985-1986	0,0	0,0	4,3	2,0	115,7	47,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	170,7
1986-1987	0,0	0,0	5,7	59,9	28,4	18,0	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	117,1
1987-1988	0,0	0,0	0,0	93,2	29,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	122,8
1988-1989	0,0	0,0	0,0	1,8	0,1	4,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1
1989-1990	0,0	0,0	0,0	1,0	35,4	23,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	60,0
1990-1991	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9
1991-1992	0,0	0,0	0,0	55,9	5,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,0
1992-1993	0,0	0,0	0,9	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2
1993-1994	0,0	0,0	0,0	51,6	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	55,2
1994-1995	0,0	0,0	0,0	1,0	21,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2
1995-1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1996-1997	0,0	0,0	0,0	3,8	22,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,5
1997-1998	0,0	0,0	0,0	16,0	68,6	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	102,8
1998-1999	0,0	0,0	0,0	39,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,8
1999-2000	0,0	0,0	0,0	3,8	103,9	126,9	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	236,0
2000-2001	0,0	0,0	0,0	19,6	23,7	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,2
2001-2002	0,0	0,0	0,0	31,1	144,4	105,3	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	283,7
2002-2003	0,0	0,0	0,0	0,0	30,4	38,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,3
2003-2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8
2004-2005	0,0	0,0	0,0	15,3	77,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	92,3
2005-2006	0,0	0,0	0,0	2,4	38,5	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,3
2006-2007	0,0	0,0	0,0	18,3	28,8	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,3
2007-2008	0,0	0,0	0,0	4,5	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8
2008-2009	0,0	0,0	0,0	18,2	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,9
2009-2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Promedio	0,0	0,0	0,4	16,6	33,7	16,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	67,6
Max	0,0	0,0	5,7	93,2	144,4	126,9	5,1	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Fuente: Elaboración Propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

4.3.7. Caudal Total en Alternativas de Embalse

El caudal total se estimó como la suma entre el flujo base y la escorrentía directa para el periodo 1969-2010. En el Anexo 4-7 se muestran estos caudales en detalle. En los Cuadros 4.3.7-1, 4.3.7-2 y 4.3.7-3 se muestra el caudal medio mensual, la desviación, y el caudal máximo y mínimo para cada alternativa en estudio.

CUADRO 4.3.7-1
CAUDALES MEDIOS EN ALTERNATIVA 1 (M^3/S)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Promedio
1980-1981	0,02	0,04	0,20	1,19	0,29	0,55	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,206
1981-1982	0,02	0,04	0,29	1,43	6,38	1,19	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,796
1982-1983	0,02	0,03	0,18	1,07	0,54	0,20	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,191
1983-1984	0,03	0,03	0,15	0,26	0,20	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,02	0,03	0,078
1984-1985	0,03	0,03	0,17	2,37	10,26	4,92	0,04	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	1,502
1985-1986	0,02	0,04	0,54	0,52	9,44	3,90	0,18	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	1,232
1986-1987	0,01	0,03	0,64	5,15	2,63	1,62	0,51	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,895
1987-1988	0,02	0,03	0,20	7,82	2,76	0,21	0,11	0,07	0,04	0,03	0,02	0,01	0,943
1988-1989	0,02	0,06	0,13	0,27	0,15	0,38	0,16	0,05	0,04	0,06	0,04	0,02	0,115
1989-1990	0,02	0,05	0,11	0,19	2,92	1,92	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,02	0,455
1990-1991	0,03	0,04	0,13	0,12	0,10	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,065
1991-1992	0,03	0,03	0,17	4,71	0,70	0,08	0,04	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,496
1992-1993	0,02	0,03	0,13	0,28	0,09	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,074
1993-1994	0,01	0,02	0,03	4,14	0,05	0,12	0,03	0,03	0,03	0,03	0,22	0,03	0,395
1994-1995	0,03	0,03	0,17	0,37	1,89	0,08	0,04	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,236
1995-1996	0,02	0,03	0,18	0,42	0,39	0,20	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,125
1996-1997	0,01	0,03	0,18	0,71	2,17	0,19	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,295
1997-1998	0,01	0,03	0,17	1,66	5,79	1,62	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,795
1998-1999	0,02	0,06	0,13	3,24	0,18	0,06	0,06	0,05	0,04	0,06	0,04	0,02	0,331
1999-2000	0,02	0,03	0,18	0,64	8,48	10,21	0,14	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	1,654
2000-2001	0,02	0,05	0,12	1,67	2,00	0,61	0,06	0,05	0,04	0,06	0,04	0,02	0,395
2001-2002	0,02	0,06	0,13	2,59	11,56	8,39	0,30	0,05	0,05	0,06	0,04	0,02	1,939
2002-2003	0,02	0,02	0,04	0,08	2,48	3,11	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,498
2003-2004	0,01	0,03	0,18	0,34	0,26	1,34	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,195
2004-2005	0,02	0,06	0,14	1,35	6,25	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,02	0,683
2005-2006	0,02	0,03	0,05	0,28	3,13	0,15	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,328
2006-2007	0,02	0,03	0,04	1,53	2,34	0,45	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,386
2007-2008	0,02	0,03	0,19	0,70	1,32	0,18	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,218
2008-2009	0,03	0,03	0,17	1,72	1,54	0,06	0,04	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,316
2009-2010	0,01	0,03	0,18	0,40	0,37	0,19	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,120
Promedio	0,019	0,035	0,177	1,574	2,89	1,41	0,092	0,050	0,041	0,041	0,036	0,024	0,532
Desv.	0,005	0,011	0,124	1,813	3,35	2,48	0,097	0,010	0,006	0,012	0,037	0,011	0,493
Max	0,029	0,061	0,635	7,822	11,56	10,21	0,505	0,066	0,058	0,066	0,224	0,053	1,939
Min	0,013	0,019	0,032	0,081	0,05	0,04	0,025	0,028	0,031	0,028	0,017	0,013	0,065

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

CUADRO 4.3.7-2
CAUDALES MEDIOS EN ALTERNATIVA 2 (M^3/S)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Promedio
1980-1981	0,01	0,02	0,12	0,74	0,18	0,35	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,129
1981-1982	0,01	0,02	0,18	0,89	3,95	0,74	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,494
1982-1983	0,01	0,02	0,11	0,67	0,34	0,12	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,120
1983-1984	0,02	0,02	0,09	0,16	0,13	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,049
1984-1985	0,02	0,02	0,11	1,47	6,36	3,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,932
1985-1986	0,01	0,02	0,34	0,33	5,85	2,42	0,12	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,764
1986-1987	0,01	0,02	0,40	3,19	1,63	1,00	0,31	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,556
1987-1988	0,01	0,02	0,12	4,85	1,71	0,14	0,07	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,586
1988-1989	0,01	0,03	0,08	0,17	0,09	0,24	0,10	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0,072
1989-1990	0,01	0,03	0,07	0,12	1,81	1,19	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,283
1990-1991	0,02	0,02	0,08	0,07	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,041
1991-1992	0,02	0,02	0,11	2,92	0,43	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,309
1992-1993	0,01	0,02	0,08	0,18	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,047
1993-1994	0,01	0,01	0,02	2,57	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,14	0,02	0,245
1994-1995	0,02	0,02	0,11	0,23	1,18	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,147
1995-1996	0,01	0,02	0,12	0,26	0,24	0,13	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,079
1996-1997	0,01	0,02	0,11	0,44	1,35	0,12	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,184
1997-1998	0,01	0,02	0,11	1,03	3,59	1,01	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,494
1998-1999	0,01	0,03	0,08	2,01	0,11	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0,206
1999-2000	0,01	0,02	0,11	0,40	5,26	6,33	0,09	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	1,026
2000-2001	0,01	0,03	0,08	1,04	1,24	0,38	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0,246
2001-2002	0,01	0,04	0,08	1,60	7,16	5,20	0,19	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	1,202
2002-2003	0,01	0,02	0,03	0,05	1,54	1,93	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,309
2003-2004	0,01	0,02	0,11	0,21	0,17	0,83	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,122
2004-2005	0,01	0,04	0,09	0,84	3,87	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,01	0,424
2005-2006	0,01	0,02	0,03	0,18	1,94	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,204
2006-2007	0,01	0,02	0,03	0,95	1,45	0,28	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,240
2007-2008	0,01	0,02	0,12	0,44	0,82	0,11	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,136
2008-2009	0,02	0,02	0,10	1,07	0,96	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,197
2009-2010	0,01	0,02	0,11	0,25	0,23	0,12	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,075
Promedio	0,012	0,022	0,111	0,978	1,79	0,87	0,058	0,031	0,026	0,026	0,023	0,015	0,331
Desv.	0,003	0,007	0,077	1,124	2,07	1,53	0,061	0,006	0,004	0,008	0,023	0,007	0,306
Max	0,019	0,038	0,395	4,851	7,16	6,33	0,314	0,041	0,036	0,041	0,139	0,034	1,202
Min	0,009	0,012	0,021	0,051	0,03	0,03	0,016	0,017	0,019	0,018	0,011	0,008	0,041

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.7-3
CAUDALES MEDIOS EN ALTERNATIVA 3 (M^3/S)

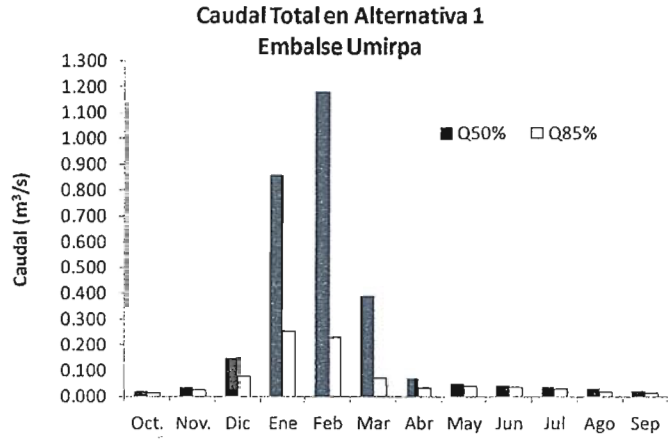
Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Promedio
1980-1981	0,01	0,02	0,12	0,69	0,17	0,32	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,120
1981-1982	0,01	0,02	0,17	0,83	3,67	0,69	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,460
1982-1983	0,01	0,02	0,11	0,62	0,32	0,12	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,112
1983-1984	0,02	0,02	0,09	0,15	0,12	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,046
1984-1985	0,02	0,02	0,10	1,37	5,91	2,83	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,866
1985-1986	0,01	0,02	0,31	0,31	5,44	2,25	0,11	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,711
1986-1987	0,01	0,02	0,37	2,97	1,52	0,93	0,29	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,517
1987-1988	0,01	0,02	0,12	4,51	1,59	0,13	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,545
1988-1989	0,01	0,03	0,08	0,16	0,09	0,22	0,09	0,03	0,03	0,04	0,02	0,01	0,067
1989-1990	0,01	0,03	0,07	0,11	1,68	1,11	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,263
1990-1991	0,02	0,02	0,08	0,07	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,039
1991-1992	0,02	0,02	0,10	2,71	0,41	0,05	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,288
1992-1993	0,01	0,02	0,08	0,17	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,044
1993-1994	0,01	0,01	0,02	2,38	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,13	0,02	0,228
1994-1995	0,02	0,02	0,10	0,22	1,09	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,138
1995-1996	0,01	0,02	0,11	0,25	0,23	0,12	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,074
1996-1997	0,01	0,02	0,10	0,41	1,26	0,11	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,172
1997-1998	0,01	0,01	0,10	0,96	3,34	0,94	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,459
1998-1999	0,01	0,03	0,08	1,87	0,10	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02	0,01	0,191
1999-2000	0,01	0,02	0,11	0,37	4,89	5,88	0,08	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,954
2000-2001	0,01	0,03	0,07	0,96	1,16	0,35	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,229
2001-2002	0,01	0,03	0,08	1,49	6,66	4,83	0,17	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	1,118
2002-2003	0,01	0,01	0,03	0,05	1,43	1,79	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,288
2003-2004	0,01	0,02	0,11	0,20	0,16	0,77	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,114
2004-2005	0,01	0,04	0,08	0,78	3,60	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0,395
2005-2006	0,01	0,02	0,03	0,16	1,80	0,09	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,190
2006-2007	0,01	0,02	0,03	0,88	1,35	0,26	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,223
2007-2008	0,01	0,02	0,11	0,41	0,77	0,10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,128
2008-2009	0,02	0,02	0,10	1,00	0,89	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,183
2009-2010	0,01	0,02	0,10	0,24	0,22	0,11	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,071
Promedio	0,012	0,021	0,104	0,911	1,67	0,81	0,054	0,029	0,024	0,024	0,021	0,014	0,308
Desv.	0,003	0,007	0,072	1,044	1,93	1,43	0,056	0,006	0,004	0,007	0,021	0,007	0,284
Max	0,017	0,036	0,368	4,510	6,66	5,88	0,293	0,039	0,034	0,039	0,130	0,032	1,118
Min	0,008	0,011	0,019	0,048	0,03	0,03	0,015	0,016	0,018	0,017	0,010	0,008	0,039

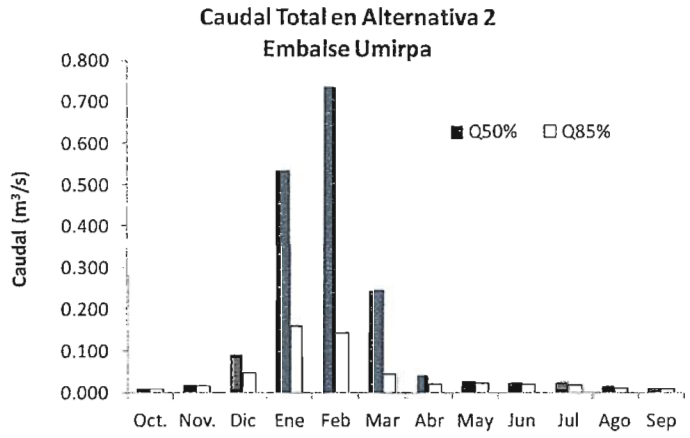
Fuente: Elaboración Propia.

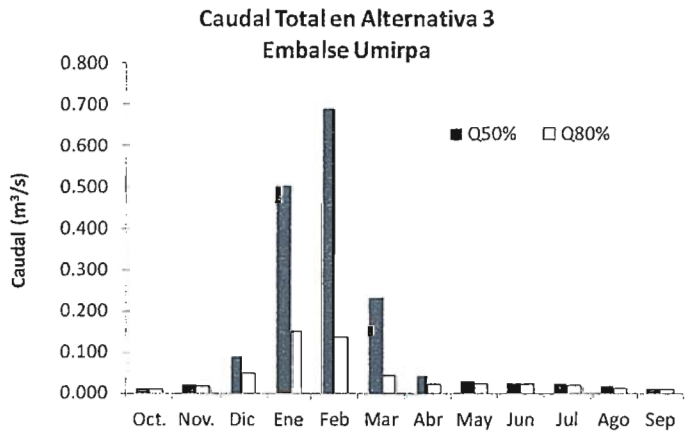
Se observa que los caudales máximos se registran en el mes de febrero, y que la alternativa 1 presenta los caudales más altos. En la Figura 4.3.7-1 se muestran la curva de variación estacional asociada a los caudales $Q_{85}\%$ y $Q_{50}\%$.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.3.7-1
Q MEDIOS MENSUALES PARA LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE EMBALSE







Fuente: Elaboración Propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

En los cuadros 4.3.7-4, 4.3.7-5 y 4.3.7-6 se muestran los caudales asociados a distintas probabilidades de excedencia para cada alternativa de ubicación de embalse.

CUADRO 4.3.7-4
Q ASOCIADOS A DISTINTAS PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA EN ALTERNATIVA 1

P_{exc} %	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Q_{tot}
10	0,026	0,049	0,330	3,856	8,968	3,205	0,168	0,064	0,049	0,056	0,059	0,038	1,185
20	0,023	0,043	0,250	2,301	4,468	1,554	0,123	0,058	0,046	0,050	0,046	0,031	0,785
50	0,019	0,034	0,147	0,857	1,178	0,389	0,068	0,049	0,041	0,039	0,030	0,021	0,357
85	0,014	0,025	0,077	0,254	0,228	0,071	0,033	0,039	0,035	0,029	0,017	0,013	0,135
90	0,014	0,023	0,066	0,191	0,155	0,047	0,028	0,037	0,034	0,027	0,015	0,012	0,107
95	0,012	0,021	0,052	0,124	0,087	0,026	0,021	0,034	0,032	0,025	0,013	0,010	0,076

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 4.3.7-5
Q ASOCIADOS A DISTINTAS PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA EN ALTERNATIVA 2

P_{exc} %	Oct,	Nov,	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Q_{tot}
10	0,017	0,031	0,207	2,390	5,544	1,986	0,105	0,041	0,031	0,035	0,037	0,024	0,734
20	0,015	0,027	0,157	1,430	2,772	0,967	0,077	0,037	0,029	0,031	0,029	0,020	0,487
50	0,012	0,021	0,093	0,536	0,736	0,244	0,043	0,031	0,026	0,025	0,019	0,013	0,223
85	0,009	0,016	0,048	0,160	0,144	0,045	0,021	0,025	0,022	0,019	0,011	0,008	0,085
90	0,009	0,015	0,042	0,120	0,098	0,030	0,018	0,023	0,022	0,017	0,010	0,008	0,067
95	0,008	0,013	0,033	0,079	0,055	0,016	0,014	0,022	0,020	0,016	0,008	0,006	0,048

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 4.3.7-6
Q ASOCIADOS A DISTINTAS PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA EN ALTERNATIVA 3

P_{exc} %	Oct,	Nov,	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Qtot
10	0,016	0,029	0,194	2,222	5,144	1,846	0,098	0,038	0,029	0,033	0,035	0,023	0,682
20	0,014	0,025	0,147	1,332	2,577	0,900	0,072	0,035	0,027	0,029	0,028	0,019	0,453
50	0,011	0,020	0,087	0,500	0,687	0,228	0,040	0,029	0,024	0,023	0,018	0,013	0,208
85	0,009	0,015	0,046	0,150	0,135	0,042	0,020	0,023	0,021	0,017	0,010	0,008	0,079
90	0,008	0,014	0,039	0,113	0,092	0,028	0,017	0,022	0,020	0,016	0,009	0,007	0,063
95	0,007	0,012	0,031	0,074	0,052	0,016	0,013	0,020	0,019	0,015	0,007	0,006	0,045

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

4.3.8. Caudales de Crecida

Los caudales máximos se obtuvieron mediante tres métodos:

a) Escalamiento Estadístico (límite superior e inferior)
b) Hidrograma Unitario Sintético
c) Trasposición con Caudales de Crecida planteados por estudios anteriores

Los caudales de crecida se estimaron mediante las dos primeras metodologías mencionadas, se debe tener en cuenta que la transposición con los valores adoptados por otros estudios como Embalse Livilcar, desarrollado por MN Ingenieros, y Embalse Lluta, desarrollado por Ingendesa, se llevó a cabo sólo para verificar el orden de magnitud de las dos primeras metodologías.

Debido a la falta de registros históricos no fue posible realizar un ajuste de frecuencia a los caudales medidos por la Estación Codpa en Cala Cala. En el Cuadro 4.3.8-1 se muestran los caudales máximos que obtuvieron de la extensión de la curva de descarga. Dichos caudales fueron estimados a partir de la extrapolación de la curva de descarga, la estación fluviométrica al poseer una curva de descarga calibrada hasta 1,2 m^3/s solo es capaz de registrar este valor como máximo.

CUADRO 4.3.8-1
CAUDALES MÁXIMOS MENSUALES OBTENIDOS MEDIANTE EXTRAPOLACIÓN DE CURVA DE DESCARGA

Mes	Q_{max} m^3/s
Enero-2011	4,5
Febrero-2011	13,3
Enero-2012	8,8

Fuente: Elaboración Propia

Estos valores, si bien fueron obtenidos mediante la extrapolación de la curva de descarga confirman la necesidad de contar con una estadística confiable en la zona, lo que se ha llevado a cabo con la construcción y mejoramiento de la Estación Codpa en Cala Cala, pero requiere de un cuidado y mantención frecuente por parte de la DGA, ya que tiende a embancar una gran cantidad de sólidos cada vez que se ve expuesta a una crecida. A continuación se describen los resultados obtenidos mediante las distintas metodologías y los caudales de crecida máximos adoptados.

4.3.8.1. Escalamiento Estadístico

La técnica de escalamiento estadístico se basa en la hipótesis que implica una dependencia espacial o temporal de los momentos probabilísticos. Este método ha sido aplicado para precipitaciones y caudales con buenos resultados (Menabde y Sivapalan, 2000; Varas 2003; Varas 2005). El escalamiento estadístico supone que los caudales de

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

cuencas diferentes, ubicadas en una misma zona quedan representados por el mismo modelo probabilístico y que los momentos de la variable aleatoria (caudal) son proporcionales a una función de transformación de escala. Los caudales se transforman de una escala a otra usando la función de transformación de escala que vincula las áreas de cada cuenca, h(a,A), mediante la siguiente condición matemática:

$$Q_a \cong h(a,A)Q_A$$

Donde Q_a corresponde al caudal de la cuenca sin control fluviométrico, Q_A al caudal en la cuenca base (de caudal conocido) y (a,A) corresponde a las áreas aportantes de cada una de las cuencas. Una forma simple para la función de transformación es una función potencial de la razón de las correspondientes áreas aportantes:

$$h(a,A) = \left(\frac{a}{A}\right)^{\beta}$$

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 $\overline{Q}$, mientras el segundo momento es la suma de la media al cuadrado más la varianza de la muestra $\overline{Q}^2 + \sigma_Q^2$, por lo tanto, las ecuaciones que nos permitirán obtener estos parámetros para las cuencas de los puntos de control son:

$$\overline{Q}_a = \left(\frac{a}{A}\right)^{\beta} \overline{Q}_A$$

$$\sigma_a^2 = \left(\frac{a}{A}\right)^{\beta} \cdot \left(\overline{Q}_A{}^2 + \sigma_A^2\right) - \overline{Q}_a{}^2$$

Si el exponente β se mantiene constante en toda la región, se dice que existe escalamiento simple. Para escalar los valores de caudal medio y varianza se consideran que los valores de caudal máximo se ajustan a una distribución Log-Normal, en función de distribución de dos parámetros ($\overline{y}, \sigma_y^2$), donde $\overline{y}$ es la media de la variable transformada, es decir, $y = \ln(Q)$ y σ_y^2 es la varianza de la variable aleatoria y. De esta manera es posible encontrar los parámetros asocias a la cuenca de menor área considerando que también siguen una distribución Log-Normal($\overline{y}, \sigma_y^2$), en base a los estadígrafos escalados para cada uno de los puntos de control. Estos parámetros se relacionan ya que el momento de orden r

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

de la muestra es igual al momento de orden r de la distribución Log-Normal, de lo que se puede deducir que:

$$\sigma_y^2 = \ln\left(\frac{\sigma_Q^2}{\exp(2\ln\overline{Q})}+1\right)$$

$$\overline{y} = \ln\overline{Q} - \frac{\sigma_y^2}{2}$$

Una vez obtenidos los parámetros de la distribución Log-Normal, se estiman los caudales para distintos periodos de retorno en los puntos de control. También se procedió a obtener el límite superior e inferior asociado a un 95%. En el Anexo 4-8 se muestra en detalle el escalamiento para las alternativas. En el Cuadro 4.3.8.1-1 y 4.3.8.1-2, y las Figuras 4.3.8.1-1 y 4.3.8.1-2 se muestran los caudales máximos obtenidos mediante escalamiento.

Para facilitar los cálculos se supuso que los caudales máximos eran iguales en las alternativas 2 y 3, esto porque las áreas son prácticamente las mismas (127 ha y 118 ha respectivamente) y los aportes de agua entre ambas alternativas son casi nulos. Diferente es el caso de la alternativa 1 la cual tiene un área considerablemente mayor (205 ha) y presenta aportes importantes entre ella y la alternativa de aguas arriba.

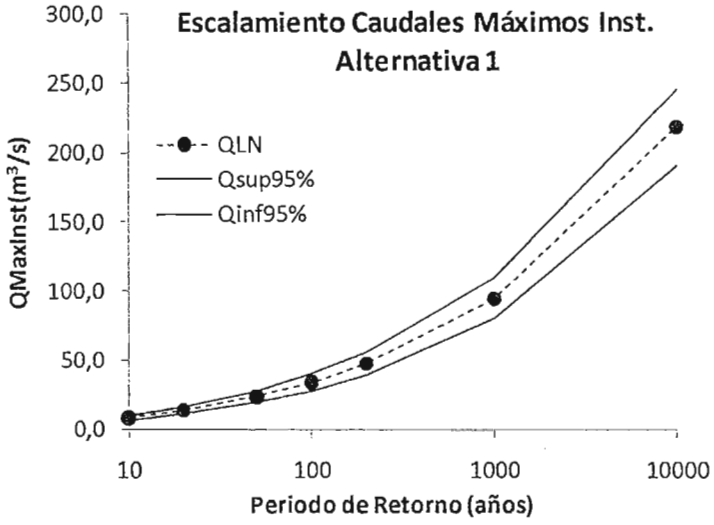
CUADRO 4.3.8.1-1
CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS (m^3/s) OBTENIDOS MEDIANTE ESCALAMIENTO ESTADÍSTICO ALTERNATIVA 1

	Periodo de retorno (años)							
	5	10	20	50	100	200	1000	10000
Q_{LN}	4,7	8,5	13,7	23,7	34,1	47,5	94,3	218,2
$Q_{Sup95\%}$	5,5	9,9	16,2	27,9	40,1	55,7	109,0	245,7
$Q_{Inf95\%}$	3,9	7,0	11,3	19,4	28,0	39,3	79,7	190,7

Fuente: Elaboración Propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.8.1-1
CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS OBTENIDOS MEDIANTE ESCALAMIENTO ESTADÍSTICO ALTERNATIVA 1



Fuente: Elaboración Propia

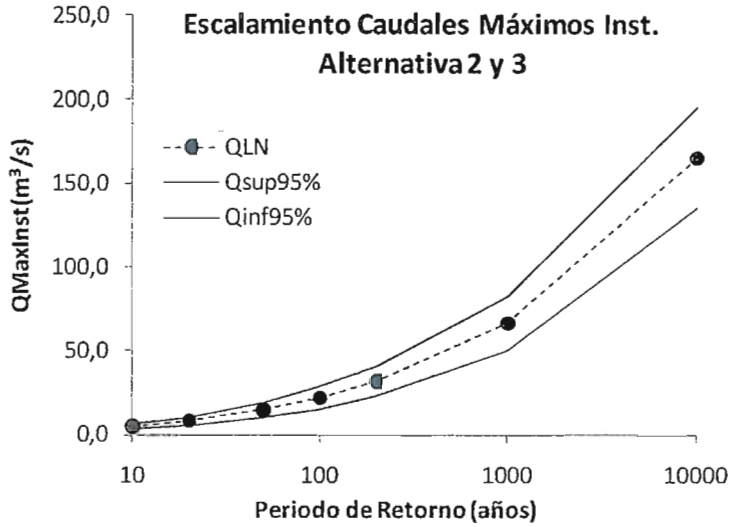
CUADRO 4.3.8.1-2
CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS (m^3/s) OBTENIDOS MEDIANTE ESCALAMIENTO ESTADÍSTICO ALTERNATIVA 2 Y 3

	Periodo de retorno (años)							
	5	10	20	50	100	200	1000	10000
Q_{LN}	2,6	4,9	8,2	14,9	22,0	31,6	66,6	165,4
$Q_{Sup95\%}$	3,4	6,4	10,9	19,5	28,6	40,5	82,5	195,3
$Q_{Inf95\%}$	1,7	3,3	5,6	10,3	15,5	22,8	50,7	135,6

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

FIGURA 4.3.8.1-2
CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS OBTENIDOS MEDIANTE ESCALAMIENTO ESTADÍSTICO ALTERNATIVA 2 Y 3



Fuente: Elaboración Propia.

4.3.8.2. Hidrograma Unitario Sintético

Esta metodología estima los caudales peak mediante el uso de Hidrograma Unitario Sintético (HUS), que considera un hidrograma unitario adimensional y posteriormente 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:

$$t_p = C_t \left(\frac{L_C * L_G}{\sqrt{S}} \right)^{nt}$$

Tiempo precipitación unitaria:

$$t_u = \frac{t_p}{5{,}5}$$

Caudal Peak:

$$q_p = C_p t_p^{n_p}$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Tiempo Base:

$$T_B = C_B t_p^{n_b}$$

Tiempo al Peak corregido:

$$\grave{t_p} = t_p + \frac{t_r - t_u}{4}$$

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 4.3.8.2-1 se muestran los valores más representativos de la zona de estudio.

CUADRO 4.3.8.2-1
COEFICIENTES PARA OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DEL HIDROGRAMA UNITARIO

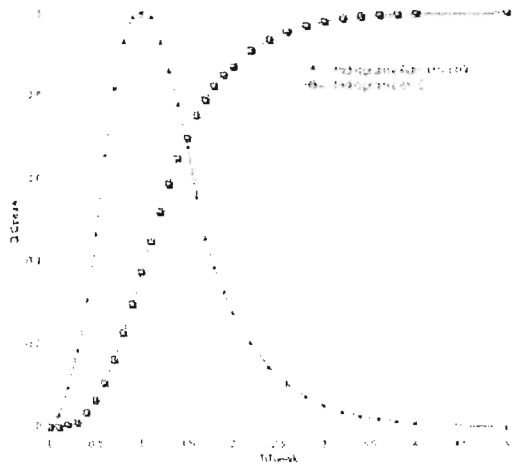
Parámetro	Valores
C_t	0,386
n_t	0,397
C_p	355,2
n_p	-1,22
C_B	2,70
n_B	1,104

Fuente: Arteaga y Benítez (1986)

La Figura 4.3.8.2-1 presenta el hidrograma unitario adimensional definido para una cuenca ideal según el SCS.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.3.8.2-1
HIDROGRAMA ADIMENSIONAL SCS



Fuente: SCS, 1979.

Para la correcta aplicación de este método es necesario seleccionar el valor más apropiado de la Curva Numero con tal de obtener la precipitación efectiva asociada a cada crecida de diseño. 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). En el Cuadro 4.3.8.2-2 se muestran los parámetros de ajuste del Hidrograma Unitario. Si bien los coeficientes presentados en el Cuadro 4.3.8.2-1 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. Este valor de 2,4 hrs se considera representativo del tipo de crecidas en la zona.

CUADRO 4.3.8.2-2
PARÁMETROS DEL HIDROGRAMA UNITARIO

tp (hr)	2,4
qp (l/s)/km²/mm	118,4
Tb (hr)	7,3
Tu	0,44

Fuente: Arteaga y Benítez (1986)

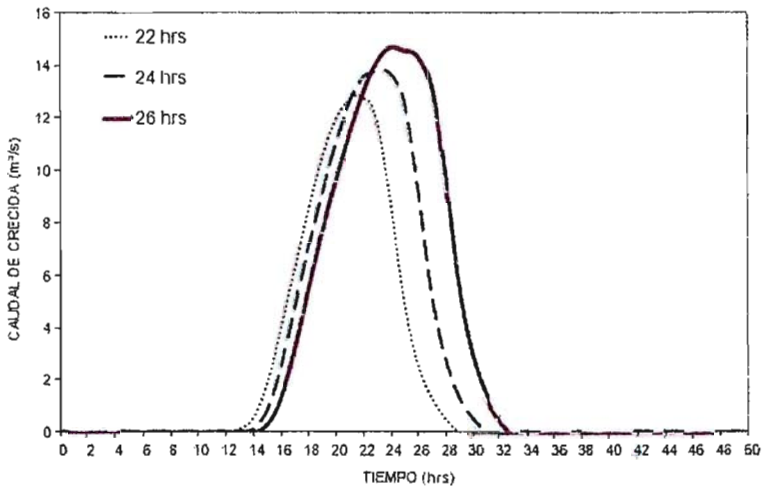
El valor de Curva Numero calibrado para los valores mensuales corresponde a un valor en condiciones secas igual CN(I) = 63, sin embargo este valor corresponde a condiciones promedio mensual y no se pueden considerar representativas de un evento en particular. El valor de la Curva Numero adoptada para el diseño del HUS en el estudio de Livilcar desarrollado por MN Ingenieros para la DOH corresponde a CN(II) = 70, en condición normal. Este valor se obtuvo de calibrar diferentes tormentas en la Cuenca vecina del Lluta.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Al no poseer registros confiables en la Estación Codpa en Cala Cala se adopta el mismo valor seleccionado para la Cuenca del Lluta.

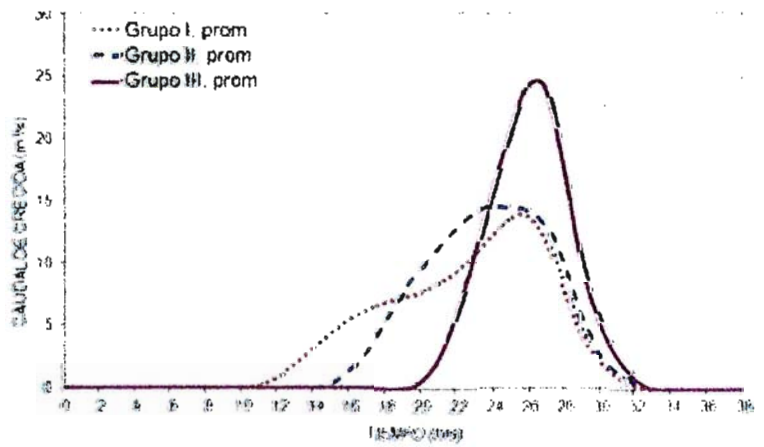
La duración más desfavorable de precipitación y el grupo de distribución de la lluvia de diseño se realizó para el periodo de retorno de 10 años. Se obtuvo una duración de precipitación desfavorable de 26 hrs y la distribución de Espíldora y Echeverría asociada al Grupo III. En la Figura 4.3.8.2-2 se muestran los hidrogramas maximizados para diferentes duraciones de tormenta. En la Figura 4.3.8.2-3 se muestran los hidrogramas maximizados para diferentes tipos de distribución de tormenta.

FIGURA 4.3.8.2-2
SELECCIÓN DE DURACIÓN MÁXIMA DE TORMENTA DE DISEÑO



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4.3.8.2-3
SELECCIÓN DE GRUPO DE DISTRIBUCIÓN DE TORMENTA DE DISEÑO



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

Posteriormente, se generaron los hidrogramas maximizados para cada periodo de retorno. En el Cuadro 4.3.8.2-3 se muestran los caudales máximos. En el Anexo 4-9 HUS aparecen los valores asociados a cada hidrograma.

CUADRO 4.3.8.2-3
CAUDALES MÁXIMOS SEGÚN HUS

T	Alternativa 1	Alternativa 2 y 3	T	Alternativa 1	Alternativa 2 y 3
	Q_{HUS}	Q_{HUS}		Q_{HUS}	Q_{HUS}
años	m^3/s	m^3/s	años	m^3/s	m^3/s
5	9,4	5,9	100	89,0	55,5
10	24,4	15,3	200	114,1	71,2
20	51,9	32,4	1.000	173,0	107,9
50	69,9	43,6	10.000	270,1	168,5

Fuente: Elaboración Propia

4.3.8.3. Trasposición con Caudales de Crecida planteados por estudios anteriores

Estudios de crecidas representativos de cuencas cercanas a la zona de estudio presentan valores para distintos periodos de retorno que se pueden tomar en cuenta para verificar la magnitud de estos eventos. Se consideraron los siguientes estudios:

Estudio de factibilidad de Embalses para los Valles de Lluta y Azapa, Ingendesa, DOH, 2004.
Estudio de Embalse Livilcar, MN Ingenieros, DOH, Versión Preliminar, 2012.

El factor de corrección para transponer los caudales asociados al estudio de Ingendesa-DOH, 2004, corresponde a la proporción entre el área delimitada por la zona de embalse ubicada en Tignamar, de 495 km^2, y el área respectiva asociada a la Alternativa 1 (205 km^2) y las Alternativas 2 y 3 (128 km^2). De esta manera los factores de transposición corresponde a FT_{Alt1}= 0,414 y FT_{Alt2y3}=0,258. El factor de corrección para transponer los caudales asociados a la zona de Embalse de Livilcar, que se asocia a una cuenca de 1165 km^2, corresponde a FT_{Alt1}= 0,175 y FT_{Alt2y3}=0,109. En el Cuadro 4.3.8.3-1 se muestran los valores de crecida estimados por cada estudio:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.8.3-1
CAUDALES ASOCIADO A CRECIDAS MÁXIMAS SEGÚN TRANSPOSICIÓN

Periodo de Retorno	Alternativa 1		Alternativa 2 y 3	
	Q_{Lluta}	$Q_{Livilcar}$	Q_{Lluta}	$Q_{Livilcar}$
años	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
5	7,0	-	4,4	-
10	13,0	10,4	8,1	6,5
20	-	17,9	-	11,2
50	42,0	34,7	26,2	21,7
100	76,0	67,9	47,5	42,4
200	120,0	103,6	74,9	64,7
1000	233,0	222,9	145,5	139,2
10000	-	454,3	-	283,7

Fuente: Ingendesa-DOH, 2004; MN Ingenieros 2012, modificados.

4.3.8.4. Caudales Adoptados

En el Cuadro 4.3.8.4-1 y 4.3.8.4-2 se muestran los caudales obtenidos mediante las distintas metodologías. Los caudales Q_{Lluta} y $Q_{Livilcar}$ son solamente referenciales ya que resultan de la transposición de áreas y por tanto son menos representativos que los métodos realizados sobre la cuenca. Por otro lado los caudales obtenidos por el método de HUS son mayores a los del escalamiento y en consecuencia representan resultados más conservadores que aseguran obras de seguridad de mayor capacidad. Es por esto que se adopta como representativo del área de estudio los caudales obtenidos mediante el HUS.

Se observa que los valores de caudales de crecida máximo obtenido mediante transposición muestran su mayor diferencia para la crecida asociada a 1.000 años de periodo de retorno.

CUADRO 4.3.8.4-1
RESUMEN DE CAUDALES SECTOR EMBALSE ALTERNATIVA 1

T	$Q_{Esc.Est.}$	$Q_{Inf95\%}$	$Q_{Max95\%}$	Q_{HUS}	Q_{Lluta}	$Q_{Livilcar}$	$Q_{adoptado}$
años	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
5	4,7	5,5	3,9	9,4	7,0	-	9,4
10	8,5	9,9	7,0	24,4	13,0	10,4	24,4
20	13,7	16,2	11,3	51,9	-	17,9	51,9
50	23,7	27,9	19,4	69,9	42,0	34,7	69,9
100	34,1	40,1	28,0	89,0	76,0	67,9	89,0
200	47,5	55,7	39,3	114,1	120,0	103,6	114,1
1000	94,3	109,0	79,7	173,0	233,0	222,9	173,0
10000	218,2	245,7	190,7	270,1	-	454,3	270,1

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

CUADRO 4.3.8.4-2
RESUMEN DE CAUDALES SECTOR EMBALSE ALTERNATIVA 2 Y 3

T	$Q_{Esc.Est.}$	$Q_{Inf95\%}$	$Q_{Max95\%}$	Q_{HUS}	Q_{Lluta}	$Q_{Livilcar}$	$Q_{adoptado}$
años	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
5	2,6	3,4	1,7	5,9	4,4	-	5,9
10	4,9	6,4	3,3	15,3	8,1	6,5	15,3
20	8,2	10,9	5,6	32,4	-	11,2	32,4
50	14,9	19,5	10,3	43,6	26,2	21,7	43,6
100	22,0	28,6	15,5	55,5	47,5	42,4	55,5
200	31,6	40,5	22,8	71,2	74,9	64,7	71,2
1000	66,6	82,5	50,7	107,9	145,5	139,2	107,9
10000	165,4	195,3	135,6	168,5	-	283,7	168,5

Fuente: Elaboración Propia

La diferencia entre los caudales obtenidos mediante transposición con los estudios del Lluta (Ingendesa-DOH, 2004) y Livilcar (MN Ingenieros-DOH, 2012) muestra que los valores subestiman caudales para periodos de retorno bajo y sobrestiman valores para periodos de retorno alto, especialmente para 10.000 años. A pesar de que se obtienen resultados similares, la transposición presenta una incertidumbre difícil de cuantificar ya que se ajustaron a cuencas de área menor y a una zona sin control fluviométrico. Para obtener mayor precisión en los caudales estimados y disminuir error asociado a la estimación de estos parámetros se considera necesario contar con registros de crecidas en la zona de ubicación de embalse, que podrían ser proporcionados por la Estación de Umirpa en sector de embalse que es parte de este proyecto, con tal de conocer con mayor seguridad la respuesta hidrológica de la cuenca asociada a determinados eventos de crecida.

4.3.9. Volumen Muerto

El objetivo principal de este acápite es cuantificar el Gasto Sólido Total (GST) asociado a las distintas alternativas de embalse. Para ello, se estimaron las principales componentes de este fenómeno, como Gasto Sólido de Fondo (GSF) y Gasto Sólido en Suspensión (GSS). El volumen muerto se calculó como el aporte de ambas componentes que llegan al punto del embalse durante un periodo de vida útil de 50 años.

El enfoque para estimar el Gasto Sólido Total asociado a un punto determinado del río fue el siguiente:

$$GST = GSF + GSS$$

Donde:

GST : Gasto Total de Sedimentos (kg/s)

GSF : Gasto Arrastre de Fondo (kg/s)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

GSS : Gasto Sólidos en Suspensión del Cauce (kg/s)

El Gasto Sólido en Suspensión corresponde a las partículas que se generan producto de la erosión de la lluvia sobre el suelo, y que llegan al cauce a través del arrastre de la escorrentía superficial, también conocido como lavado de cuenca. El Gasto Sólido de Fondo corresponde al que se genera debido a la erosión del río, producto del esfuerzo de corte sobre las partículas que componen el fondo del cauce, este arrastre se transporta de dos formas: como arrastre de fondo propiamente tal, o partículas que durante periodos intermitentes son capaces de entrar en suspensión. Ambos gastos sólidos, permiten estimar el volumen muerto para un horizonte determinado considerando el aporte de producción medio anual asociado a cada alternativa de ubicación de embalse.

A continuación, se describen distintitos métodos para estimar ambas componentes. Finalmente se adoptó un volumen muerto que asegure un correcto funcionamiento del embalse durante el periodo de vida útil. Las distintas metodologías se aplicaron a la cuenca delimitada por la Alternativa 1 (205 km^2), la Alternativa 2 (127 km^2) y la Alternativa 3 (118 km^2). En el Anexo 4-10 se muestra la estimación de producción de sedimento para cada método.

4.3.9.1. Estimación de la Producción Anual de Sedimentos

El gasto sólido suspendido que genera una cuenca se asocia a distintos factores de erosión, tales como la precipitación, el viento, los glaciares, el hielo, la gravedad, etc. Las partículas removidas son arrastradas y pueden, o no, incorporarse a algún cauce para ser transportadas a otros lugares de la cuenca mediante escurrimiento superficial; este proceso se facilita por las fuerzas asociadas al movimiento del fluido.

Las mediciones de este fenómeno se realiza mediante una estación sedimentométrica, sin embargo los datos y la ubicación de este tipo de estaciones es escasa, por lo que no siempre es posible contar con una medida directa. Es por ello, que se planteó la utilización de tres metodologías empíricas y una estimación mediante registros sedimentométricas de una cuenca vecina:

Producción Anual de Sedimento (Dendy Bolton, 1976)
Metodología USBR, 1974
Tasas Regionales Cogotí y US
Estimación GSS mediante registros sedimentométricos Estación Lluta

Los métodos planteados corresponden a técnicas clásicas ampliamente utilizadas, en el que se incluyen expresiones provenientes de estudios realizados en otros países y a nivel nacional. Es importante tener en cuenta que las tasas regionales están asociadas a cuencas con un alto porcentaje nival y con caudales medios mayores que los estimados en la zona de estudio, por ende representan condiciones de mayor capacidad de arrastre y sólo se deben considerar como valores referenciales.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

a) Producción Anual de Sedimento (Dendy Bolton, 1976)

Los estudios de sedimentación de Dendy y Bolton analizaron más de 1.500 embalses y estanques de retención. Para desarrollar el estudio de formulas empíricas se usaron más de 800 de estos embalses con una área mayor a 1mi^2. Las cuencas con un área menor a 1 mi^2 (2,58 km^2) fueron excluidas debido a que poseen una gran variabilidad en la estimación del sedimento, reflejando diversos efectos de suelo, topografía local, vegetación, uso de suelo y prácticas agrícolas.

Para cuencas de drenajes entre 1 y 30.000 mi^2, y caudales hasta 50 in anuales. Dendy y Bolton encontraron que la producción de sedimento se relaciona de la siguiente forma:

Para Q < 2 in

$$\frac{S}{S_R} = 1.07\left(\frac{Q}{Q_R}\right)^{0.46}\left[1.43 - 0.26log\left(\frac{A}{A_R}\right)\right]$$

Para 50 in > Q > 2 in

$$\frac{S}{S_R} = 1.19e^{-0.11(Q/Q_R)}\left[1.43 - 0.26log\left(\frac{A}{A_R}\right)\right]$$

Donde:

S = producción de sedimento anual ton/mi^2/año

Sr = producción de sedimento de una cuenca referencial, 1645 ton/mi^2/año

A = área aportante de la cuenca mi^2

Ar= área de referencia, 1 mi^2

En los Cuadro 4.3.9.1-1 se muestran los parámetros de cálculo para la metodología propuesta por Dendy Bolton. Se muestra el valor del área en km^2 y mi^2, y la producción de escorrentía anual en m^3/s y como lámina de agua en pulgadas.

CUADRO 4.3.9.1-1
PARÁMETROS PARA ESTIMAR DENDY BOLTON

Alternativa	Área		Caudal		
	km^2	mi^2	m^3/s	mm	in
1	205	79,2	0,532	81,8	3,222
2	127	49,0	0,331	82,2	3,236
3	118	45,6	0,308	82,3	3,241

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Según estos parámetros es posible estimar la producción anual de sedimento asociada al área y al caudal expresado en lámina de agua. En el Cuadro 4.3.9.1-2 se muestra la producción anual en términos de gasto anual y diario.

CUADRO 4.3.9.1-2
PRODUCCIÓN ANUAL DE SEDIMENTOS

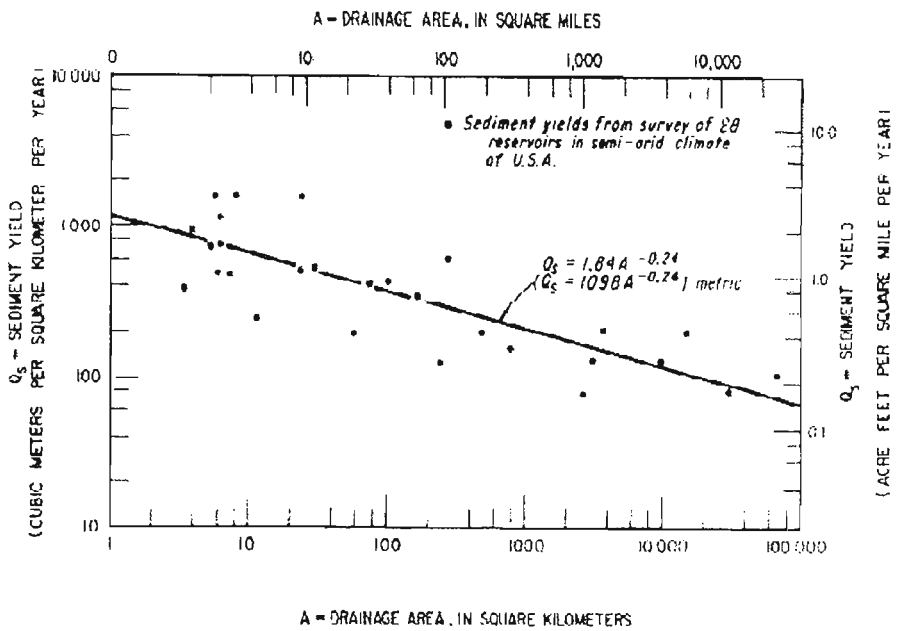
Alternativa	t/km^2/año	t/km^2/d
1	593	1,62
2	627	1,72
3	632	1,73

Fuente: Elaboración Propia

b) Estimación de la producción anual según metodología USBR (1974)

La expresión propuesta por la USBR (1974), se obtuvo de correlacionar la producción de sedimento asociada a 28 cuencas de clima semiárido, tal como se muestra en la Figura 4.3.9.1-1. En el Cuadro 4.3.9.1-3 se muestra el gasto solido en términos volumétricos asociado a cada alternativa de embalse.

FIGURA 4.3.9.1-1
PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS VS ÁREA SEGÚN USBR



Fuente: USBR, 1974

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.3.9.1-3
PRODUCCIÓN ANUAL DE SEDIMENTO ASOCIADO A LA ALTERNATIVA 1

Alternativa	Área	Prod. Anual		Prod. Diaria
	Km^2	$M^3/Km^2/año$	$t/Km^2/año$	$t/Km^2/d$
1	205	306,0	505,0	1,38
2	127	343,3	566,5	1,55
3	118	349,4	576,5	1,58

Fuente: Elaboración Propia

Tasas Regionales para la estimación anual de sedimento

Se consideraron tres tasas regionales, con tal de obtener valores globales de producción de sedimento. En el embalse Cogotí, IV región, se determinó una tasa de producción anual de sedimento como resultado del estudio "Sedimentación del embalse Cogotí" (López et al, 1993), en dichos estudio se obtuvo una tasa regional de 0,30 $mm/km^2/año$. Un promedio obtenido en diversas cuencas de Estados Unidos de 0,24 $mm/km^2/año$ (Tasa US). En el Cuadro 4.3.9.1-4 se muestra el volumen asociado a distintas tasas para una cuenca de 378 km^2. Al considerar un peso específico del material depositado igual a 1,65 ton/m^3 es posible determinar una producción anual de este material.

CUADRO 4.3.9.1-4
VOLUMEN MUERTO SEGÚN TASAS REGIONALES

Alternativa	Tasa Cogotí			Tasa US		
	$mm/Km^2/año$	$t/Km^2/año$	$t/km^2/d$	$mm/Km^2/año$	$t/Km^2/año$	$t/km^2/d$
1	0,30	495	1,36	0,24	396	1,08
2	0,30	495	1,36	0,24	396	1,08
3	0,30	495	1,36	0,24	396	1,08

Fuente: Elaboración Propia

Estas tasas regionales son representativas de cuencas con alto arrastre de sedimentos ubicadas en el sector andino con importante presencia nival. Por lo que sólo se pueden considerar como un valor referencial de un volumen muerto.

Estimación de la Producción Solida Suspendida mediante uso de registros de estación sedimentométrica

En la zona de estudio no existen registros de mediciones sedimentométricas, que permitan estimar con precisión la producción real observada en la zona de ubicación de embalse. Sin embargo, en la zona de la cuenca del Río Lluta se cuenta con registros de una estación sedimentométrica. En la Figura 4.3.9.1-2 se muestra la sección de ambos ríos, R.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

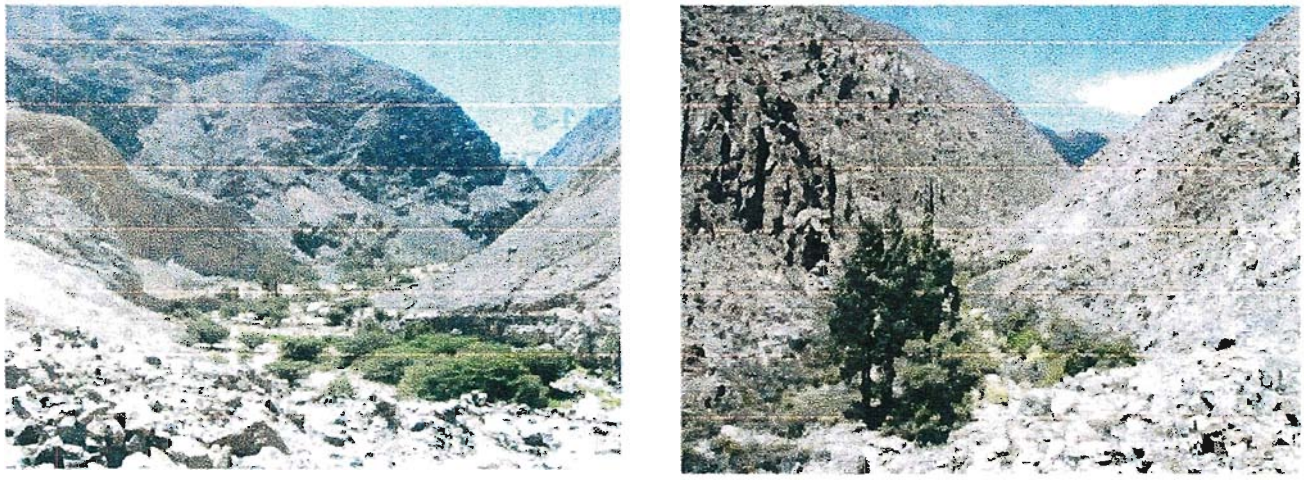
Lluta (izquierda) y Q. Vitor (derecha), por lo que se puede inferir una similitud en los depósitos en la producción de sedimentos, al observar la caja y los depósitos de fondo de ambos cauces.

Los registros de gasto solido en suspensión se ajustan a una curva del tipo:

Donde a y b corresponden a parámetros que dependen del las características geomorfológicas de la cuenca, del tipo de cobertura y del tipo de suelo, Qa corresponde al gasto solido (ton/d) y Ql al gasto liquido (m^3/s). En la Figura 4.3.9.1-3 se muestra el ajuste de tres líneas de tendencia: superior, central e inferior, cuyos coeficientes de muestran en el Cuadro 4.3.9.1-1.

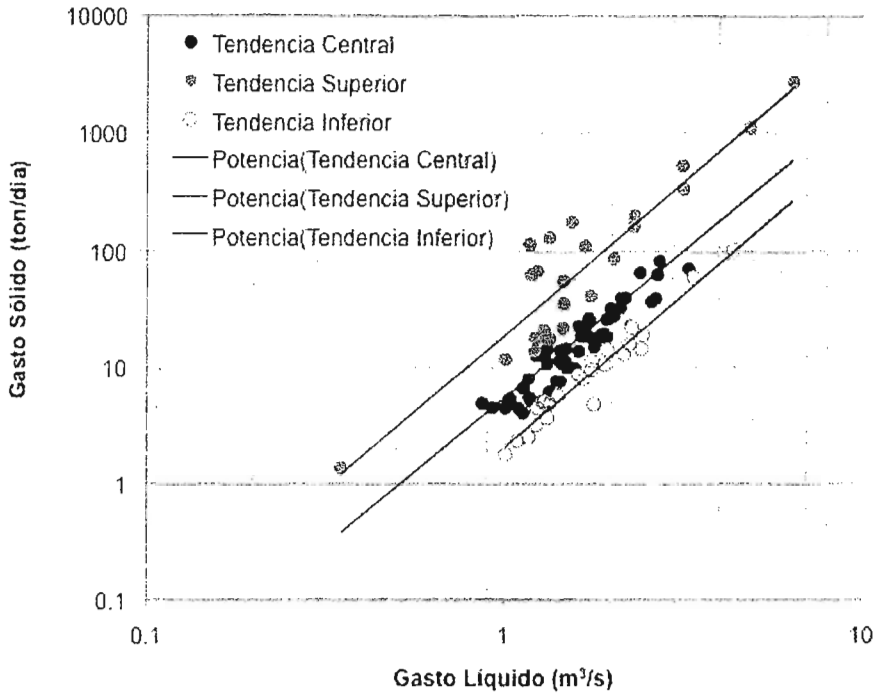
Estos valores permiten estimar la producción de sedimentos asociada a distintas tendencias de producción. Si bien estos registros corresponden a la Cuenca del Lluta, se pueden extrapolar al considerar similitud de producción de sedimentos. En el Anexo 4-10 se muestran los registros y el promedio anual.

FIGURA 4.3.9.1-2
SECCIÓN CERCANA A ESTACIÓN SEDIMENTOMÉTRICA LLUTA (IZQUIERDA) Y QUEBRADA VITOR (DERECHA)



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4.3.9.1-3
TENDENCIAS DE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTO EN SUSPENSIÓN ESTACIÓN SEDIMENTOMÉTRICA LLUTA



Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 4.3.9.1-5
PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS

	Inferior	Central	Superior
a	2,01	5,36	18,59
b	2,63	2,53	2,62
R^2	0,835	0,555	0,947

Fuente: Elaboración Propia

Para estimar la producción media anual se utiliza la estadística de caudales generadas para las Alternativas 1, 2 y 3, y se promedia la producción anual estimación del gasto de arrastre de fondo. Para estimar la producción de sedimentos de la cuenca asociada a la Quebrada de Vitor se utiliza la tendencia superior estimada en la cuenca del Lluta.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.9.1-6
PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN

Alternativa	t/año	t/año/km^2	t/d/km^3
1	45.450	221,7	0,61
2	19.791	155,8	0,43
3	16.340	138,5	0,38

Fuente: Elaboración Propia

c) Estimación Indirecta Relación GSS/GSF

La estimación del gasto de arrastre de fondo se realiza mediante la relación que existe entre el gasto solido suspendido y el gasto de arrastre de fondo (GSS/GSF). En el Cuadro 4.3.9.1-7 se muestra la relación que existe para diferentes cuencas según diferentes estudios.

CUADRO 4.3.9.1-7
TASAS REGIONALES

CUENCA	Gasto Solido Suspen-dido	Área Cuenca	Prod. Especi-fica	Gasto Solido de Fondo	Área Cuenca	Prod. Especi-fica	G.S.Fon do/G.S.S usp.	Antecedente
	ton/d	km^2	ton/d/km^2	ton/d	km^2	ton/d/km^2		
Aconcagua	-	-	0,66	-	-	0,33	50%	CICA,1982
Aconcagua	2055	2060	1,00	349	2060	0,17	17%	Benitez, 1977
Maipo	11233	4968	2,26	2808	4968	0,57	25%	CNR, 1984
Cachapoal	8723	6841	1,28	279	6841	0,04	3%	ENDESA,1984
Tinguiririca	4981	3089	1,61	204	3089	0,07	4%	ENDESA,1984
Maule(Colbún)	6800	4542	1,50	646	4542	0,14	10%	ENDESA,1977
Melado	2795	2261	1,24	266	2261	0,12	10%	ENDESA,1978

Fuente: JRI-UCH, 2008

La relación que existe entre el Gasto de Arrastre de Fondo y el Gasto Solido Suspendido presenta un valor máximo para el Aconcagua, estimado entre un 17% y un 50%, se debe tener en cuenta que el Aconcagua corresponde a una cuenca que se origina en la Cordillera de Los Andes y que posee influencia de zona nival. Para el resto de las cuencas se observa una relación entre el 3% y el 25%. Se adopta un valor de 10% como representativo en la zona de Umirpa.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.3.9.2. Producción de Sedimento y Volumen Muerto Adoptado

En el Cuadro 4.3.9.2-1 se muestra el resumen de la producción de sedimento según cada metodología utilizada para las distintas zonas de embalse Umirpa.

CUADRO 4.3.9.2-1
TASA DE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS

Metodología	Dendy Bolton t/día/km^2	USBR t/día/km^2	Tasa Cogotí t/día/km^2	Tasa US t/día/km^2	Tasa Est. Tacontasi t/día/km^2
Alt. 1	1,62	1,38	1,36	1,08	0,61
Alt. 2	1,72	1,55	1,36	1,08	0,43
Alt. 3	1,73	1,58	1,36	1,08	0,38

Fuente: Elaboración Propia

Se eligió la tasa obtenida con los datos registrados en la estación Tacontasi en Río Lluta ya que estos representan el arrastre real en una cuenca con características similares a la de Vitor y a que, de acuerdo a las inspecciones realizadas en terreno, no se observó un arrastre masivo de bolones después de las crecidas del verano.

En el Cuadro 4.3.9.2-2 se muestra la producción de sedimento adoptada, que considera el gasto solido en suspensión y el gasto mediante arrastre de fondo. Esta tasa corresponde a la obtenida mediante el análisis de los registros de la estación sedimentométrica del Lluta.

CUADRO 4.3.9.2-2
PRODUCCIÓN ANUAL DE SEDIMENTO ADOPTADA

Metodología	Producción Sedimento en Suspensión	Producción Sedimento de Arrastre de Fondo	Producción Sedimento Total	Producción Anual de Sedimento
	ton/día/km^2	ton/día/km^2	ton/día/km^3	ton/año
Alternativa 1	0,61	0,061	0,67	49.996
Alternativa 2	0,43	0,043	0,47	21.770
Alternativa 3	0,38	0,038	0,42	17.974

Fuente: Elaboración Propia

Aunque la tasa de producción de sedimentos corresponde a la tendencia superior de los registros del Lluta se debe hacer notar que los valores de producción anual obtenidos mediante métodos empíricos siempre entregaron valores mayores a los registrados por la estación sedimentométrica. La incertidumbre asociada a la producción de sedimentos en la zona se debe a la falta de registros de esta variable, por lo que se recomienda fuertemente

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

que para el diseño definitivo del Embalse Umirpa se realice un conjunto de mediciones de gasto solido suspendido y de arrastre de fondo en distintas temporadas con tal de seleccionar la metodología que se adecue a los niveles de producción real de la cuenca de la Quebrada de Vitor.

A continuación en el Cuadro 4.3.9.2-3 se muestra el volumen muerto asociado a las distintas zonas de alternativa de Embalse Umirpa para un periodo de vida útil de 50 años. Se considera un peso específico de 1,65 ton/m^3 para la estimar el volumen muerto a partir de la producción anual de sedimento.

CUADRO 4.3.9.2-3
VOLUMEN MUERTO PARA DIFERENTES ALTERNATIVAS EN 50 AÑOS

Alternativa	Producción Anual	Volumen Muerto	Volumen Muerto
	(ton/año)	(m^3/año)	(hm^3)
Alt. 1	49.996	30.300	1,52
Alt. 2	21.770	13.194	0,66
Alt. 3	17.974	10.893	0,54

Fuente: Elaboración Propia

4.3.10. Estación Fluviométrica

4.3.10.1. Introducción

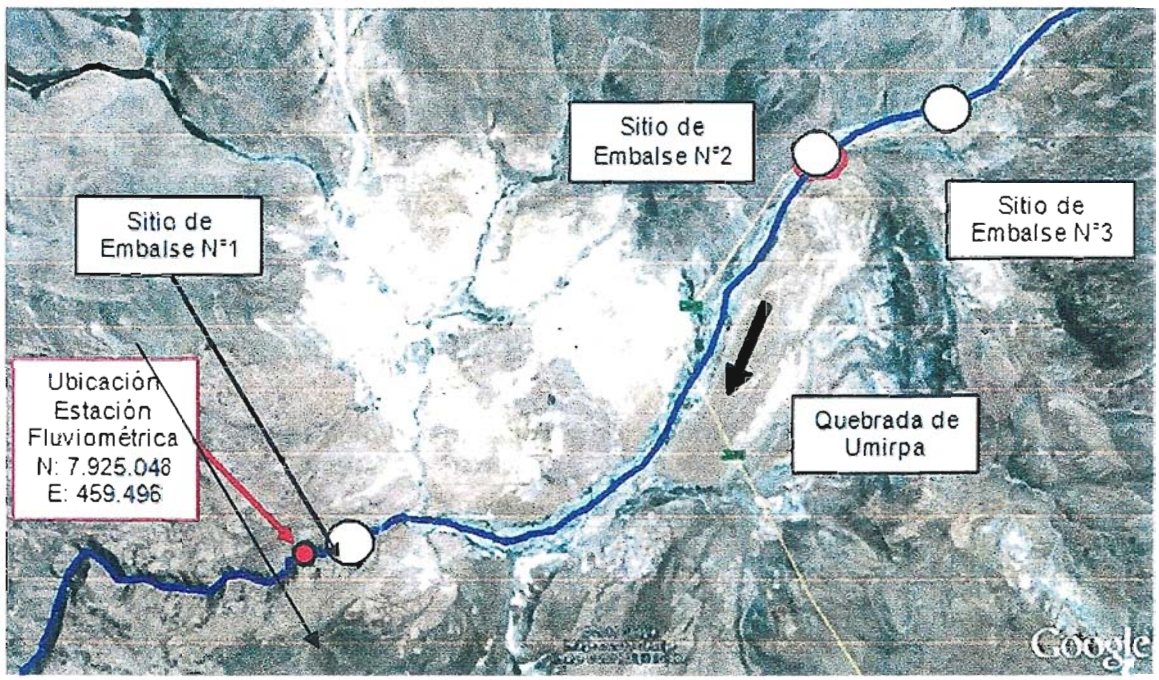
De acuerdo a lo solicitado en los Términos de Referencia del Estudio, para efectos de calibración del modelo operacional de la cuenca, se hace necesario un control diario de los caudales de la quebrada de Umirpa en el área en que estarían ubicadas las alternativas de la presa, durante al menos 6 meses. Para ello se construirá una estación de control fluviométrica, con un diseño simplificado, el cual se describe en los siguientes acápites.

4.3.10.2. Selección de la Ubicación de la Estación Fluviométrica

En función de las visitas a terreno del consultor y la coordinadora del estudio se consideró apropiado instalar la estación aguas abajo de la Alternativa de embalse N°1. La razón de esto es que en este punto la quebrada de Umirpa se encajona y el flujo se concentra en una sola sección, lo que permite aforar todos los recursos de la cuenca aguas arriba. En la Figura 4.3.10.2-1 la ubicación recomendada para la obra. Además en la Figura 4.3.10.2-2 (fotos N°1 y N°2) el emplazamiento puntual de la misma.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.3.10.2-1
UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA A CONSTRUIR



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.3.10.2-2
UBICACIÓN DE ESTACIÓN DE AFORO



Foto N°1 Vista hacia aguas abajo, donde se ubicara la obra (rectángulo en segmentos) junto a una roca

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.10.2-2
UBICACIÓN DE ESTACIÓN DE AFORO

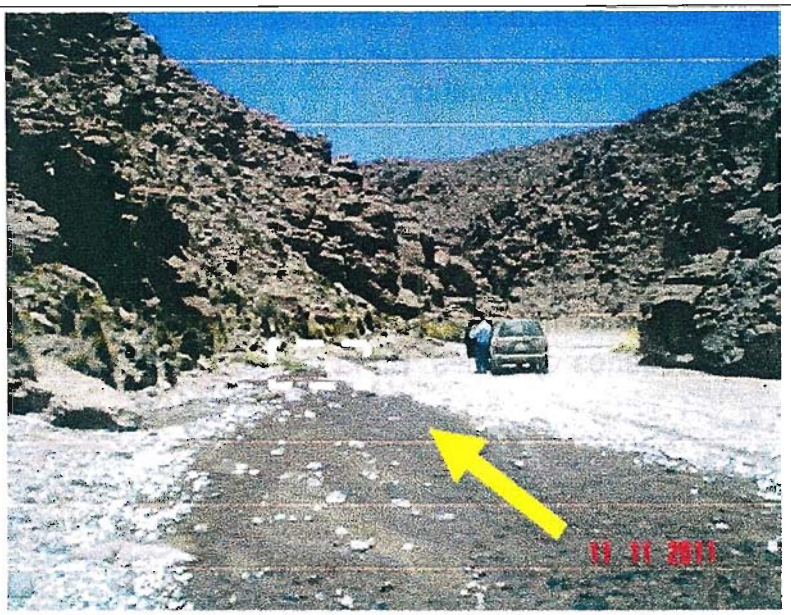


Foto N°2 Vista más general del lugar de emplazamiento de la obra, se aprecia que es el sector más estrecho del cajón en el tramo

Fuente: Elaboración propia

4.3.10.3. Alternativas de estructuras para realizar la medición

a) Antecedentes Básicos

Caudales

El diseño de la estación de control tiene como principal objetivo la medición de caudales del Río Codpa, aguas abajo de la zona del embalse Umirpa. El rango de medición de esta estación considera caudales hasta los 2 m^3/s, ya que se busca realizar una medición de los caudales disponibles la mayor cantidad del tiempo, y no de los caudales en crecida.

Ubicación

Como criterio de diseño de esta estación se asegurará que todo el caudal de la quebrada pasará por el vertedero y que éste no quedará influenciado por el escurrimiento hacia aguas abajo. La curva de descarga teórica se verificará mediante aforos.

Construcción y Operación

Para el diseño y construcción de la estación y su control diario con dos lecturas durante el periodo de 6 meses, se tomará en cuenta las normativas o prácticas existentes de la Dirección General de Aguas. Además por lo lejano e inaccesible de la ubicación, se deberá contar con un sistema de medición automático.

b) Alternativas de Estructuras de Aforo

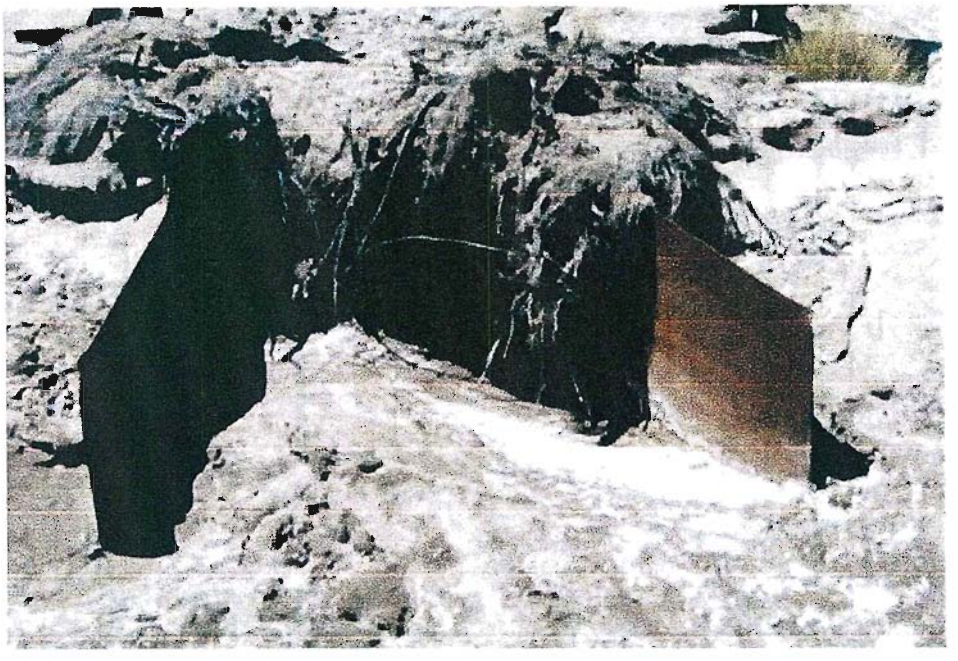
Básicamente se piensa en dos tipos de obra, una grada de tipo triangular con regleta o un aforador tipo Parshall, la grada triangular se desecha rápidamente por la posibilidad cierta que se acumule material aguas arriba de la grada, además esta estructura funciona bien solo para pequeños caudales. En la visita reciente se pudo verificar caudales sobre a los 600 L/s.

Según estas consideraciones, se estima que lo más apropiado sería una sección de control, tipo Parshall con un instrumento capaz de medir altura de nivel 2 veces al día como mínimo. Dada la condición de aislamiento de la estación a controlar, se propone instalar un medidor automático de niveles, un data-logger para almacenar la información, y un panel solar para suministrar la energía para el data-logger y la sonda. Los datos serán recuperados mensualmente para ser procesados y considerados en el estudio hidrológico y el modelo de simulación. Está estación se diseña para registro de caudales menores a 2 m^3/s, de manera tal que soporte los caudales en crecida.

Se tiene antecedentes de la ubicación de una antigua estación de medición del a Dirección General de Aguas en la zona, llamada Umirpa en Umirpa, que correspondía a una Canaleta Parshall que aun es posible identificar actualmente, tal como se indica en la Figura 4.3.10.3-1. Esta estación poseía un ancho de garganta aproximado de 0,9 m, por lo que se le asocia una capacidad de medición máxima aproximada de 1,43 m^3/s. En los registros del BNA no fue posible encontrar registros de dicha estación, aunque su periodo de funcionamiento se estima fue entre los años 1968-71.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.10.3-1
ANTIGUA ESTACIÓN UMIRPA EN UMIRPA



Fuente: Elaboración propia

Este tipo de aforadores se utiliza en ríos del norte del país, con caudales medios mensuales del orden de L/s. Entre las principales estaciones de este tipo se pueden mencionar:

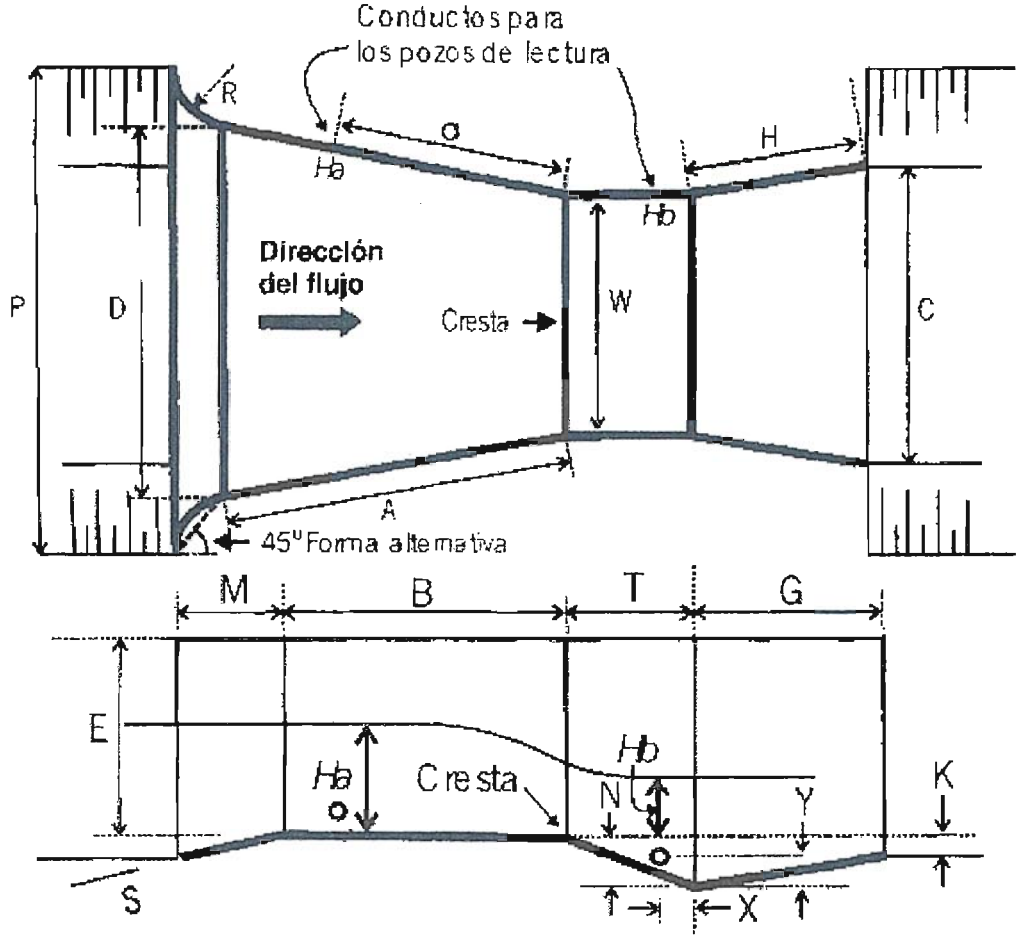
RÍO SAN PEDRO EN PARSHALL N°1, Río Loa.
RÍO SAN PEDRO EN PARSHALL N°2, Río Loa.

Así como el aforador del Río Silala que desemboca en Río San Pedro.

Sus principales ventajas son que sólo existe una pequeña pérdida de carga a través del aforador, que deja pasar fácilmente sedimentos o desechos, que no necesita condiciones especiales de acceso o una poza de amortiguación y que tampoco necesita correcciones para una sumergencia de hasta un 60%. En consecuencia, es adecuado para la medición del caudal en canales de riego o en corrientes naturales con una pendiente suave. El medidor consiste en una sección convergente con el fondo a nivel, una sección de garganta con el fondo con pendiente descendente y una sección divergente con el fondo con pendiente ascendente. Gracias a ello el agua escurre a velocidad crítica a través de la garganta. En la Figura 4.3.10.3-2 se muestra une esquema de la canaleta Parshall.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.3.10.3-2
CANALETA DE AFORO PARSHALL



Fuente: Medidores Flujo Critico, VT CHOW, 1993.

Este aforador se rige por la siguiente ecuación:

$$Q=cH^z$$

Donde, Q representa el caudal aforado (cfs), H la altura en (ft), mientras que el coeficiente c y el exponente z, dependen de las características geométricas del dispositivo de medición que se trate. Los parámetros asociados a la curva de descarga de la canaleta Parshall de 4 ft (48"), corresponden a:

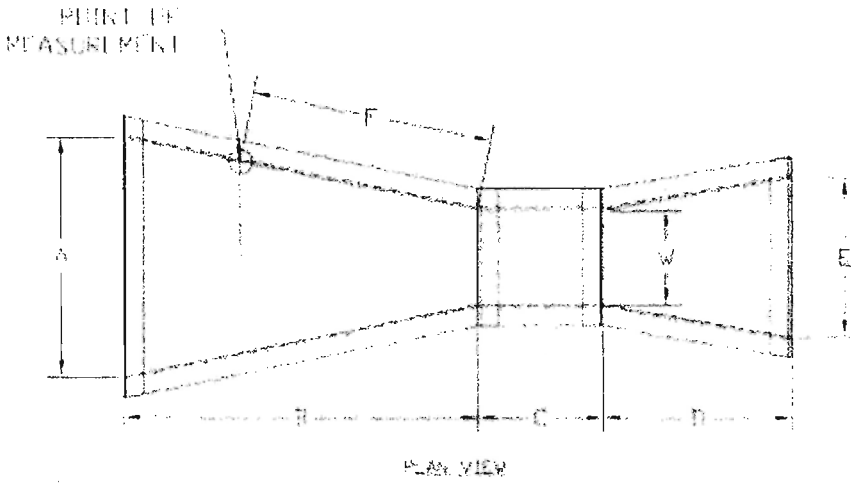
$$c=4*W=16$$

$$z=1,522*W^{0,028}=1,582$$

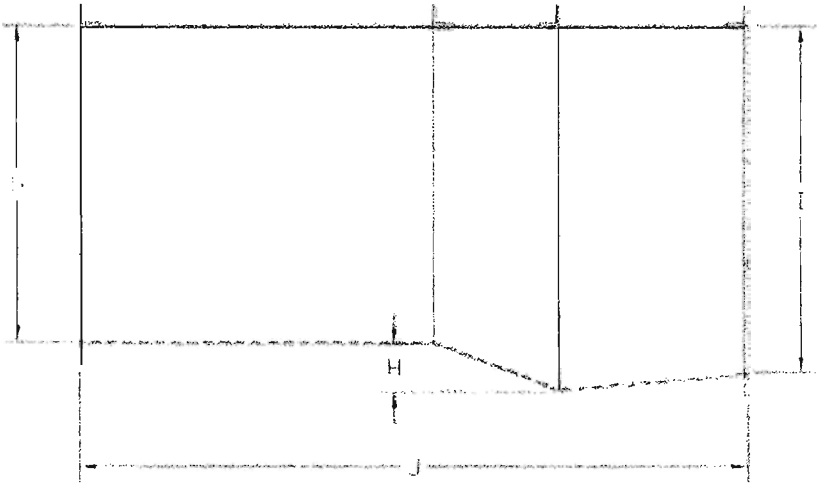
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En la Figura 4.3.10.3-3 se muestran las características técnicas el aforador Parshall W48:

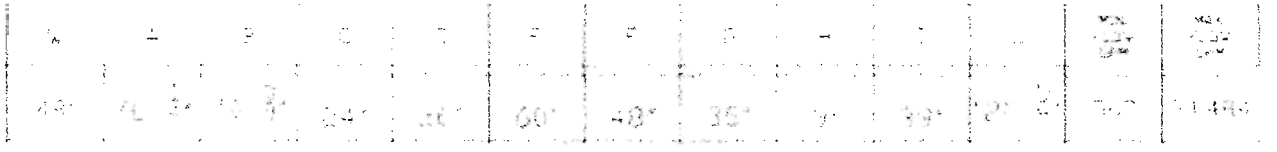
FIGURA 4.3.10.3-3
CARACTERÍSTICAS CANALETA PARSHALL



PLAN VIEW



ELEVATION VIEW



Fuente: Medidores Flujo Critico, VT CHOW, 1993.

El diseño propiamente tal se muestra en los planos de construcción.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

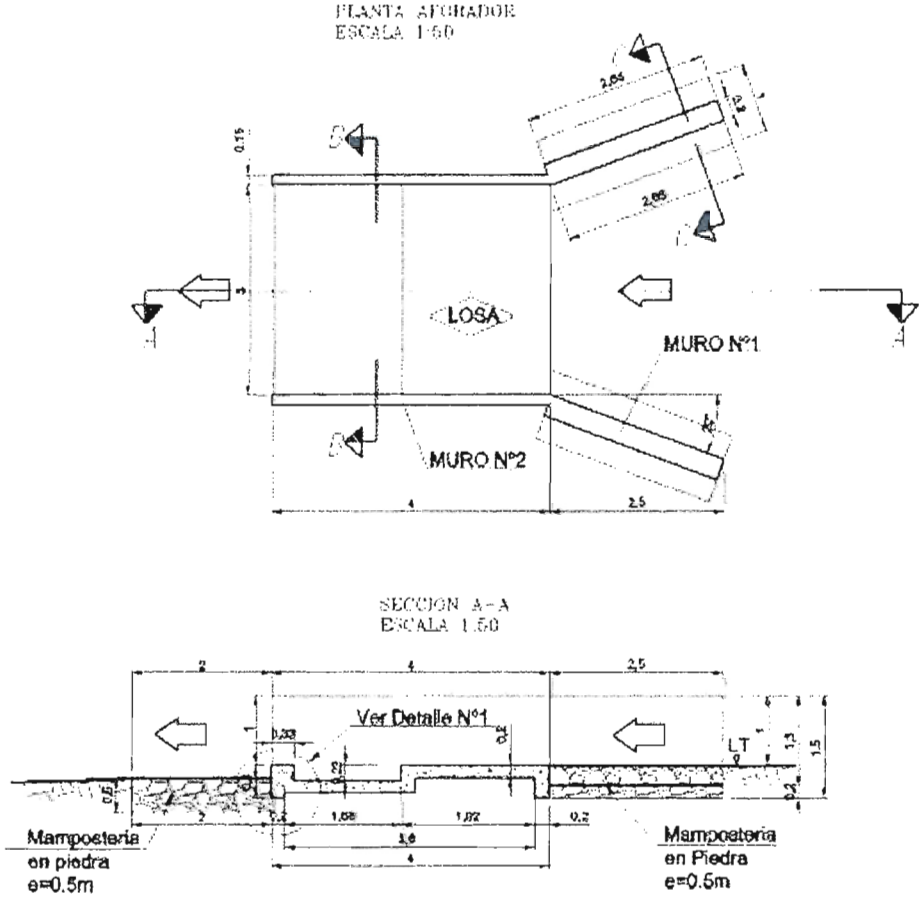
4.3.10.4. Diseño de las Obras Civiles de la Estación

Básicamente para la instalación del aforador Parshall se hace necesario construir una losa de apoyo bien fundada, la cual se colocara en un sector protegido por afloramientos rocosos, pensando en que resista las crecidas del invierno altiplánico

a) Descripción de la Obra Civil

La obra civil corresponde a una estructura de hormigón armado, que consta de una losa de hormigón y sobre ella dos muros de hormigón paralelos que tienen la función de dar sostenimiento a la canaleta prefabricada, adema se consideran dos muros de de aproximación que cumplen la labor de encauzar el flujo hacia la canaleta, además se considera emplazar la estructura en un sector donde existen afloramientos rocosos, a los cuales se pretende anclar la estructura, todo la obra en sus alrededores se plantea darle estabilidad con mampostería de piedra, esto se puede observar en la Figura 4.3.10.4-1 y Figura 4.3.10.4-2:

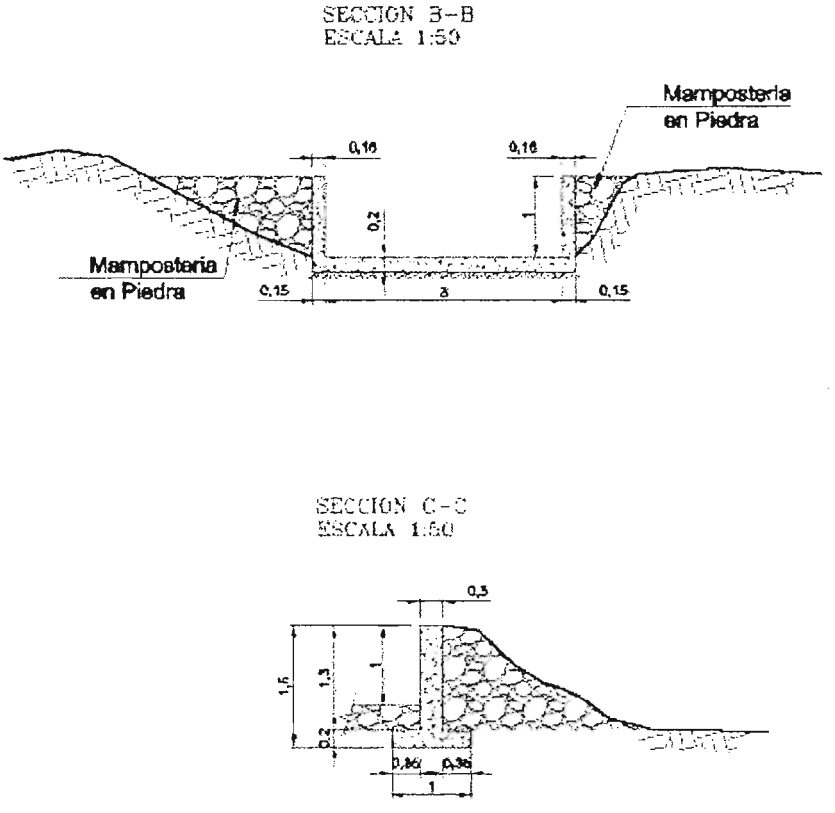
FIGURA 4.3.10.4-1
DETALLE DE LA OBRA CIVIL



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.10.4-2
DETALLE DE LA OBRA CIVIL



Fuente: Elaboración propia

b) Criterios de Diseño

En el diseño de la obra se tomaron en consideración mencionadas los siguientes documentos, siendo el primero el principal y de mayor interés:

"Proyecto de Estaciones Fluviométricas – Abril 2006" del subdepartamento de Hidrometría de la Dirección General de Aguas.

"Diseño y proyectos de estaciones Fluviométricas-Abril 2006", del subdepartamento de Hidrometría de la Dirección General de Aguas.

"Parshall Flumes- Características y dimensiones de canaletas Parshall" del subdepartamento de Hidrometría de la Dirección General de Aguas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

c) Diseño Hidráulico

La estadística de caudales en la zona se puede estimar a partir de los registros de la estación Río Codpa en Cala Cala, que corresponde a la única estación fluviométrica que registra caudales en la Cuenca de Quebrada de Vítor.

Los caudales aforados más cercanos en la zona corresponden a los de la estación Codpa en Palca y Codpa en Ofragía, que corresponden a estaciones muy antiguas y de corta extensión. En el Cuadro 4.3.10.4-1 se muestran los registros mensuales de las estaciones.

CUADRO 4.3.10.4-1
REGISTRO DE ESTACIONES

Registros en Estación Río Codpa en Palca (Q m^3/s)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1946	-	-	-	-	-	-	0,08	-	0,16	0,06	0,06	0,07
1947	1,41	0,29	0,08	0,06	0,08	0,12	0,13	0,12	0,07	0,04	0,02	0,04
1948	0,06	0,34	13,76	-	0,07	-	-	-	-	-	-	-
Registros en Estación Río Codpa en Ofragía (Q m^3/s)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1946	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,02	0,01	0,01	-
1947	0,13	0,10	0,01	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,01	-	-
1948		0,02	0,38	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-
Registros en Estación Río Codpa en Cala Cala (Q m^3/s)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	0,035	0,033	0,05	0,035	0,031	0,062	0,048	0,041	0,028	0,026	0,027	0,022

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los caudales mensuales que se registran en la zona del Valle Codpa, se observa que la capacidad y el rango de diseño abarcan un amplio espectro (menores a 2 m^3/s). En el caso de los caudales máximos el diseño debe considerar los caudales máximos para los cuales la estación se verá afectada.

Estudios Básicos

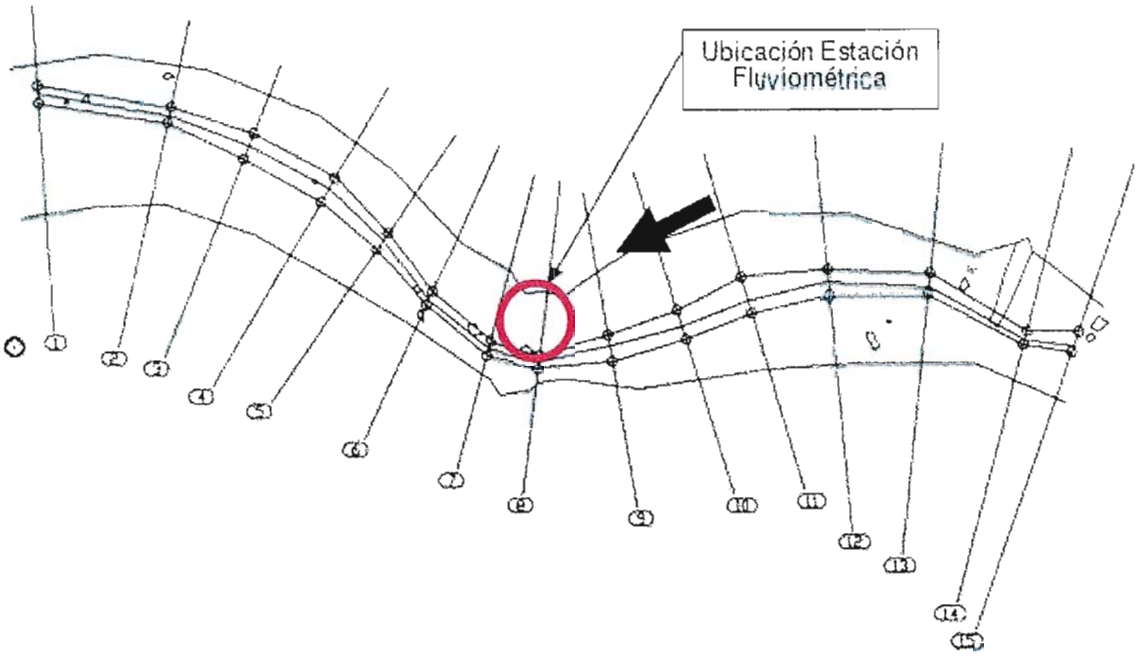
Para definir la altura de aguas en crecida se recopilaron los antecedentes topográficos aguas abajo y aguas arriba de la zona de emplazamiento y además los caudales en crecida para distintos periodos de retorno.

En el Estudio Topográfico se realizó un levantamiento taquimétrico 120 m aguas arriba del lugar de instalación y 120 m aguas abajo escala 1:50, del cual se obtuvieron 15

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

perfiles transversales al cauce a una distancia promedio de 20 m; con lo cual se obtuvo toda la información para la modelación. Los perfiles se presentan en la Figura 4.3.10.4-3.

FIGURA 4.3.10.4-3
DISPOSICIÓN DE PERFILES TRANSVERSALES TOMADOS EN TERRENO



Fuente: Elaboración propia

Estudio de Crecidas. Para determinar los caudales en crecida se investigaron antecedentes de la estación fluviométrica rio Codpa en Cala-Cala, debido a lo incompleto de los datos se procedió a realizar una transposición de caudales con una cuenca vecina de similares características, para lo cual se utilizaron los resultados obtenidos en el "Estudio de Factibilidad de Embalses para los Valles de Lluta y Azapa" realizado por INGENDESA el año 2004 para la DOH. En dicho estudio se extrajeron los caudales calculados en crecida para la cuenca del río Tignamar en la zona de presa. Los caudales de crecida se presentan en el Cuadro 4.3.10.4-2.

CUADRO 4.3.10.4-2
CAUDALES EN CRECIDA RÍO TICNAMAR EN ZONA DE PRESA

T (años)	Q (m3/s)	T (años)	Q (m3/s)
5	18	100	183
10	31	200	290
50	102	1000	563

Fuente: Estudio de Factibilidad de Embalses para los Valles de Lluta y Azapa"
INGENDESA-DOH, 2004

La cuenca del rio Tignamar en zona de presa tiene una cuenca de 495 km^2 y presenta características similares en altura y precipitaciones que la cuenca de la quebrada de Umirpa en el sitio de presa N°3 que además presenta una cuenca aportante de 205 km^2, por lo que se obtiene la siguiente relación:

$$Q_{umirpa} = Q_{tignamar} * 205/495 = Q_{ticnamar} * 0,4141$$

En función de la relación anterior, se obtienen los caudales en crecida en la quebrada de Umirpa en el sitio de presa N°1 (Cuadro 4.3.10.4-2).

CUADRO 4.3.10.4-3
CAUDALES EN CRECIDA QUEBRADA DE UMIRPA EN SITIO DE PRESA N°1

T (años)	Q (m3/s)
5	7
10	13
50	42
100	76
200	120
1000	233

Fuente: Elaboración propia

Estudio de Mecánica de Suelos. Debido a la poca información disponible se procedió a estimar las características del lecho de la quebrada de Umirpa, dicho lecho por una inspección visual se caracteriza por tener un lecho de material fluvial compuesto por gravas con algún porcentaje de arenas, se advierte además afloramientos rocosos.

Cálculo del Eje Hidráulico

Se realizo el cálculo del eje hidráulico en los sectores con topografía utilizando el programa computacional HEC-RAS, se consideran los siguientes datos de entrada.

- **Rugosidad del Lecho**. La rugosidad base a través de la ecuación de Strickler ocupando la caracterización de diámetros del sedimento del cauce a partir de Para la determinación de la rugosidad base se puede utilizar el D_{84} ya que el cauce esta acorazado, por tanto se parte con una rugosidad base de 0,022.

  Para calcular la rugosidad total del lecho se utilizó el método de Cowan, como sigue:

  $$n = m\ (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$$

  Donde:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

n_0 = rugosidad base para un canal recto, uniforme, prismático y con rugosidad homogénea calculado con la fórmula de Strickler que corresponde a 0,022

n_1 = rugosidad adicional debida a irregularidades superficiales del perímetro mojado a lo largo del tramo en estudio, en este caso se considera leve.

n_2 = rugosidad adicional equivalente debida a variación de forma y de dimensiones de las secciones a lo largo del tramo en estudio, en este caso se considera gradual la variación de las secciones.

n_3 = rugosidad adicional equivalente debida a obstrucciones existentes en el cauce que en este caso se consideran despreciables.

n_4 = rugosidad adicional equivalente debida a la presencia de vegetación, en este caso se considera un densidad de vegetación media.

m = factor de corrección para incorporar efecto de sinuosidad del cauce o presencia de meandros, en este caso se considera leve.

En el Cuadro 4.3.10.4-4 se presenta el "n" de Manning adoptado para estimar el eje hidráulico de la quebrada de Umirpa.

CUADRO 4.3.10.4-4
RUGOSIDAD DE MANNING TOTAL

n_o	n_1	n_2	n_3	n_4	m	n cauce
0,022	0,005	0	0	0,005	1	0,032

Fuente: Elaboración propia

Para las planicies de inundación se adoptaron los valores recomendados por la literatura técnica para sectores con matorrales y frondoso que se muestran en el Cuadro 4.3.10.4-5.

CUADRO 4.3.10.4-5
RUGOSIDAD DE MANNING EN PLANICIES DE INUNDACIÓN

Sector	n planicies
1	0,045

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

Los valores adoptados resultan de la aplicación de las formulas y la experiencia de este consultor.

- **Caudales Utilizados y Periodos de Retorno**. Los caudales ensayados corresponden a los con periodo de retorno de 100 años para caudales, según el estudio hidrológico.

Resultados del Eje Hidráulico

Se presentan los resultados del eje hidráulico para la crecida T = 100 años, en el Cuadro 4.3.10.4-6, el detalle del cálculo se presenta en Anexo 4-11.

Se puede comentar que las características del flujo corresponde a un régimen crítico típico en quebradas cordilleranas que oscila ± entre un 20% del Bernoulli crítico. Las velocidades del flujo oscilan entre 2,5 m/s y 4 m/s. El detalle de los perfiles transversales con el eje hidráulico se puede ver en Anexo 4-11.

Si se debe destacar que en la sección donde se emplaza la canaleta (ver Figuras 4.3.10.4-4 a 4.3.10.4-6) no se ve mayormente afectada por la estructura que tiene un ancho de 3 m, con respecto a los 20 que tiene la sección completa, por lo que probablemente no se verán mayores efectos en el cauce por la instalación de la estructura.

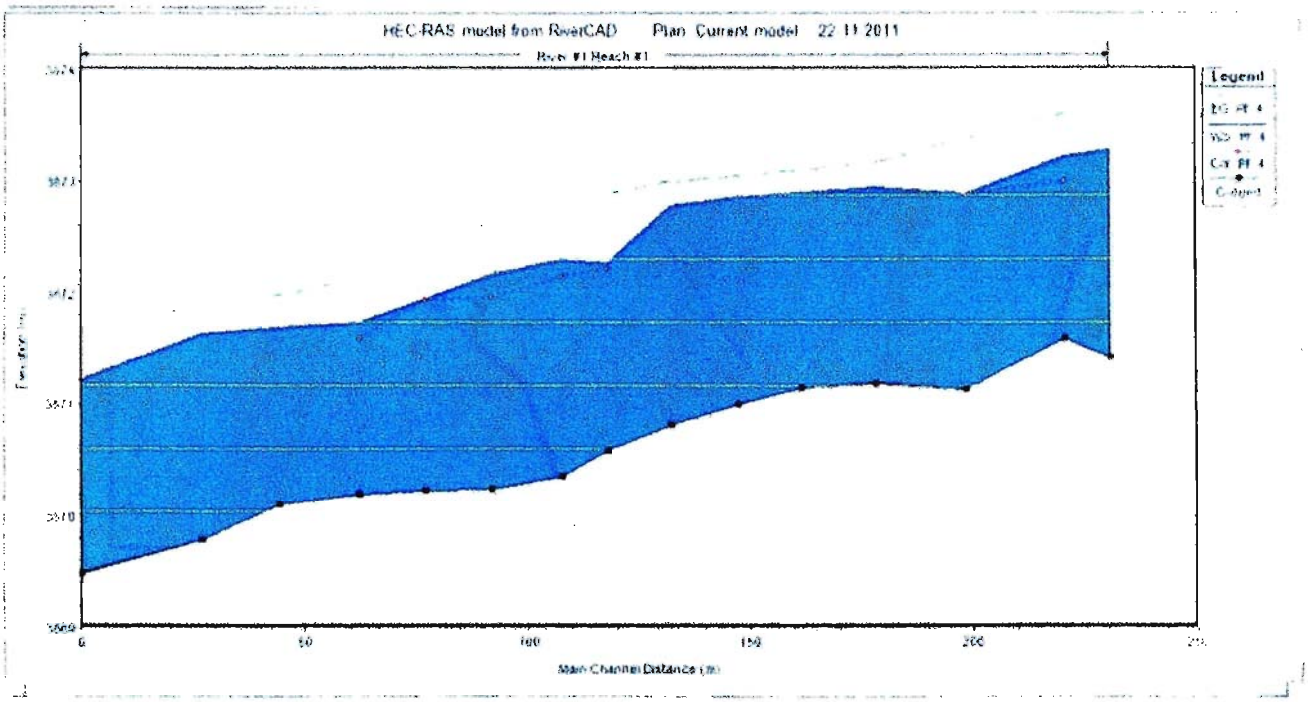
CUADRO 4.3.10.4-6
RESULTADOS DEL E.H. T = 100 AÑOS

Perfil	Kilometraje	Caudal	Fondo	EH	E.H.	H crítico	Energía	J	Vmedia	Área	L	Fr
(m)	(m)	(m3/s)	(m.s.n.m.)	(m.s.n.m.)	(m)	(m.s.n.m.)	(m.s.n.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	15	75,8	3871,43	3873,27	1,84		3873,69	0,007552	3,52	29,2	23,12	0,9
2	30	75,8	3871,6	3873,21	1,61	3873	3873,6	0,008856	3,76	29,24	22,88	0,98
3	45	75,8	3871,14	3872,88	1,74	3872,88	3873,38	0,010571	4,26	27,99	26,04	1,09
4	60	75,8	3871,19	3872,94	1,75		3873,15	0,003963	2,79	40,75	30,72	0,68
5	75	75,8	3871,15	3872,9	1,75		3873,09	0,003075	2,48	43,94	32,3	0,61
6	90	75,8	3871	3872,86	1,86		3873,04	0,002887	2,52	44	29,56	0,59
7	105	75,8	3870,81	3872,78	1,97		3873	0,002999	2,67	40,56	24,02	0,61
8	120	75,8	3870,58	3872,27	1,69	3872,23	3872,88	0,011979	4,77	24,4	18,5	1,18
9	135	75,8	3870,35	3872,3	1,95	3872,15	3872,73	0,007372	4,04	30,25	23,73	0,94
10	150	75,8	3870,24	3872,16	1,92	3871,96	3872,61	0,007998	4,15	28,35	20,25	0,98
11	165	75,8	3870,22	3871,94	1,72	3871,94	3872,47	0,010085	4,34	27,36	24,68	1,08
12	180	75,8	3870,19	3871,73	1,54	3871,6	3872,13	0,008271	3,63	30,54	27,08	0,96
13	195	75,8	3870,1	3871,69	1,59		3871,98	0,005548	3,13	35,68	28,25	0,8
14	210	75,8	3869,78	3871,63	1,85		3871,87	0,004792	3,16	39,01	29,8	0,76
15	230	75,8	3869,49	3871,22	1,73	3871,22	3871,68	0,009617	4,3	30,63	30,11	1,06

Fuente: Elaboración propia

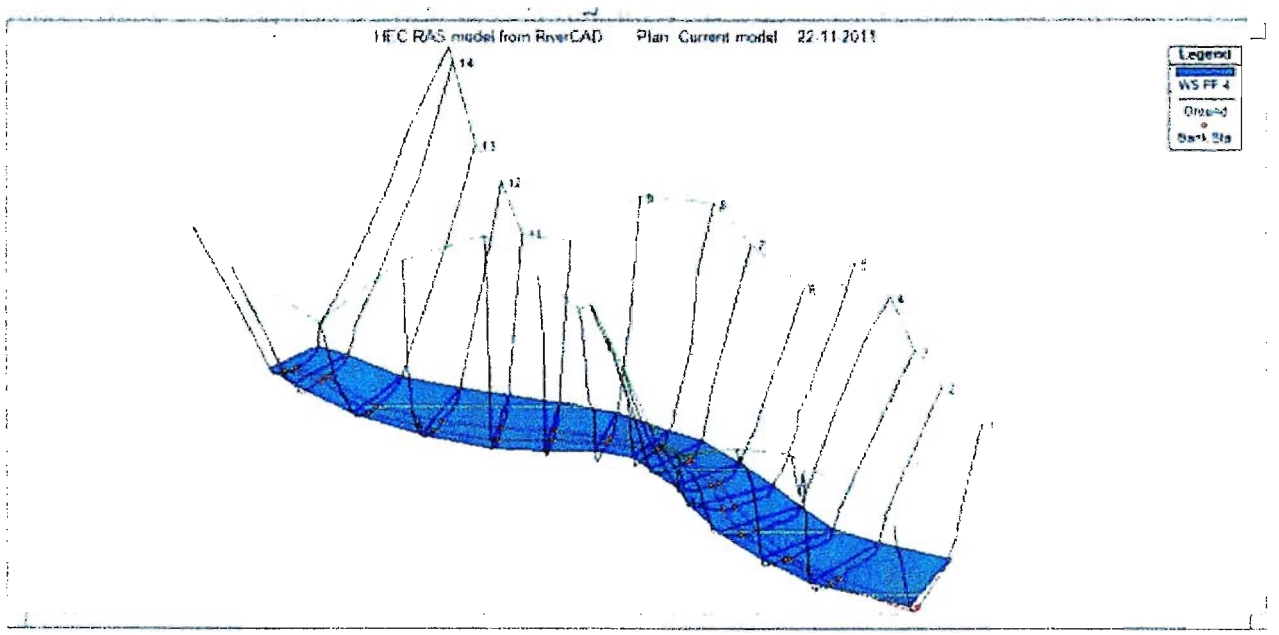
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.3.10.4-4
PERFIL LONGITUDINAL E.H. QUEBRADA DE UMIRPA T = 100 AÑOS



Fuente: Elaboración propia usando Hec-ras

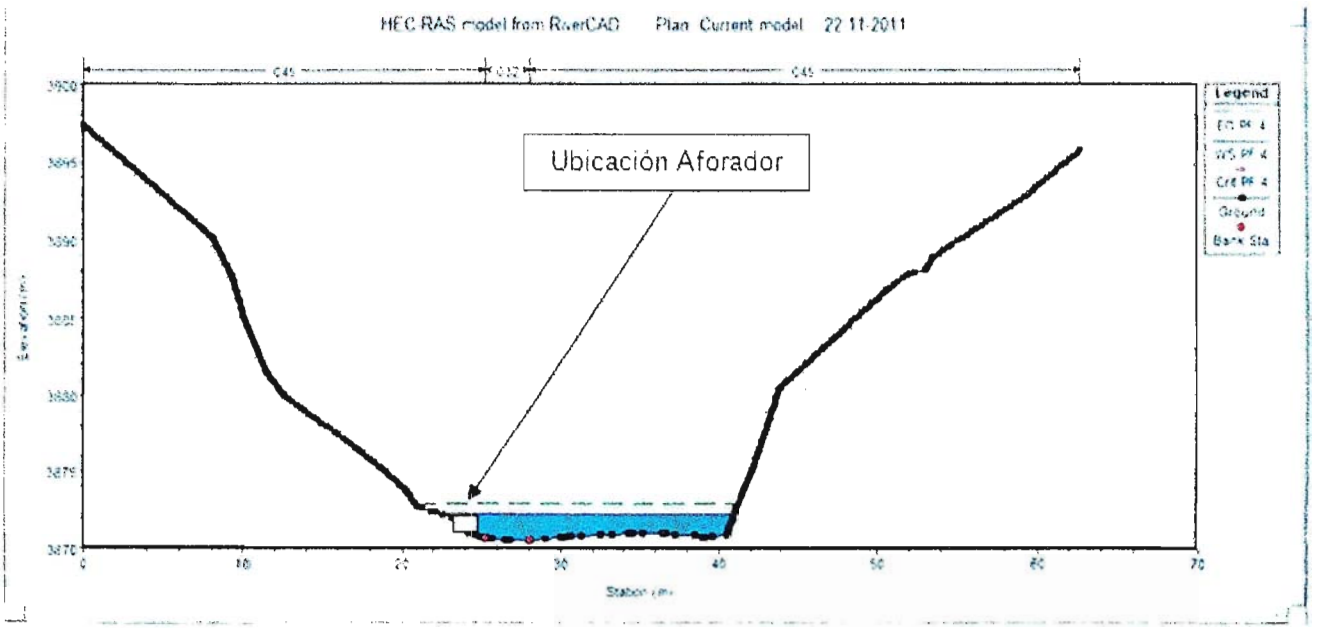
FIGURA 4.3.10.4-5
ISOMÉTRICA SUPERFICIE DE INUNDACIÓN



Fuente: Elaboración propia usando Hec-ras

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.3.10.4-6
SECCIÓN DE EMPLAZAMIENTO AFORADOR PARSHALL



Fuente: Elaboración propia usando Hec-ras

d) Diseño Estructural

Básicamente para este tipo de estructura los criterios preponderantes para dimensionamiento de la sección resultan de la experiencia de este consultor al respecto, se debe pensar que esta estructura estará en contacto con el agua y propensa a sufrir posibles impactos de material solido en tiempo de crecidas del invierno altiplánico. Según lo anterior los espesores de losas y muros resultan ser conservadores no menores a 15 cm y los recubrimientos de enfierradura no menores a 5 cm. El detalle de las obras se muestra en los planos de diseño.

4.3.10.5. Instrumentación

En lo que sigue se presentan las características del data-logger y de la sonda de niveles requerida para complementar el sistema aforador.

a) Sensor de Nivel

Se ha instalado para medir el nivel del agua en la canaleta Parshall un medidor de caudal ultrasónico modelo SONDAR 5000. Este medidor tiene la capacidad de medir la altura del nivel del agua mediante pulsos ultrasónicos en intervalos de tiempo definidos. El procedimiento es mediante un dispositivo, que se instala en la canaleta Parshall en la sección "point of measurement", que envía una señal ultrasónica hacia abajo. Esta señal

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

rebota en el agua y se devuelve hacia el mismo dispositivo, el cual registra el momento cuando se devuelve. El equipo SONDAR calcula el tiempo de demora entre una señal y el rebote y con eso obtiene la altura, que corresponde a la altura de agua.

Posee capacidad de medir desde 0,00 metros hasta 2,00. Para este caso se ha configurado una altura máxima de 1,50 metros.

Con este medidor se pueden obtener curvas de alturas vs el tiempo, y como la geometría de la canaleta es constante, así como también la pendiente, se puede obtener fácilmente el caudal registrado. La Figura 4.3.10.5-1 muestra el equipo instalado.

FIGURA 4.3.10.5-1
EQUIPO SONDAR 5000



Fuente: Google.com

b) Almacenador de Datos (Data Logger)

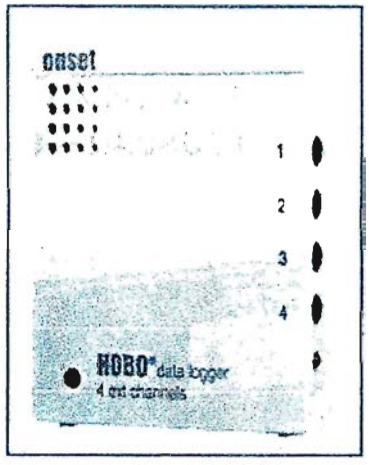
Se ha instalado en conjunto con Sondar 5000 un Data Logger HOBO U12-006 para el registro de los datos. El procedimiento del instrumento es el siguiente: Equipo Sondar registra la altura del nivel del agua, y envía una pequeña corriente. Cuando la altura del agua es 0,00 metros, la corriente enviada por el dispositivo es de 4 mA. A medida que el nivel del agua va subiendo la corriente también aumenta, en forma lineal, hasta llegar al nivel máximo que es de 1,50 metros con una corriente de 20 mA.

Estas pequeñas corrientes son registradas por el HOBO previamente configurado con las mismas características que el SONDAR, e interpretadas como datos de alturas de nivel de agua en metros. El equipo se ha configurado de modo que registre un pulso cada 5 minutos, con esta configuración el instrumento puede grabar hasta 5 meses la información y con esos datos se genera una curva de caudales medios diarios.

Luego para rescatar los datos se debe acudir al lugar y ocupar el software del fabricante para descargarlos. Una vez descargados se debe purgar la información de modo que tenga espacio para registrar nuevos datos.

En la Figura 4.3.10.5-2 se muestra el equipo HOBO.

FIGURA 4.3.10.5-2
EQUIPO HOBO U12-006



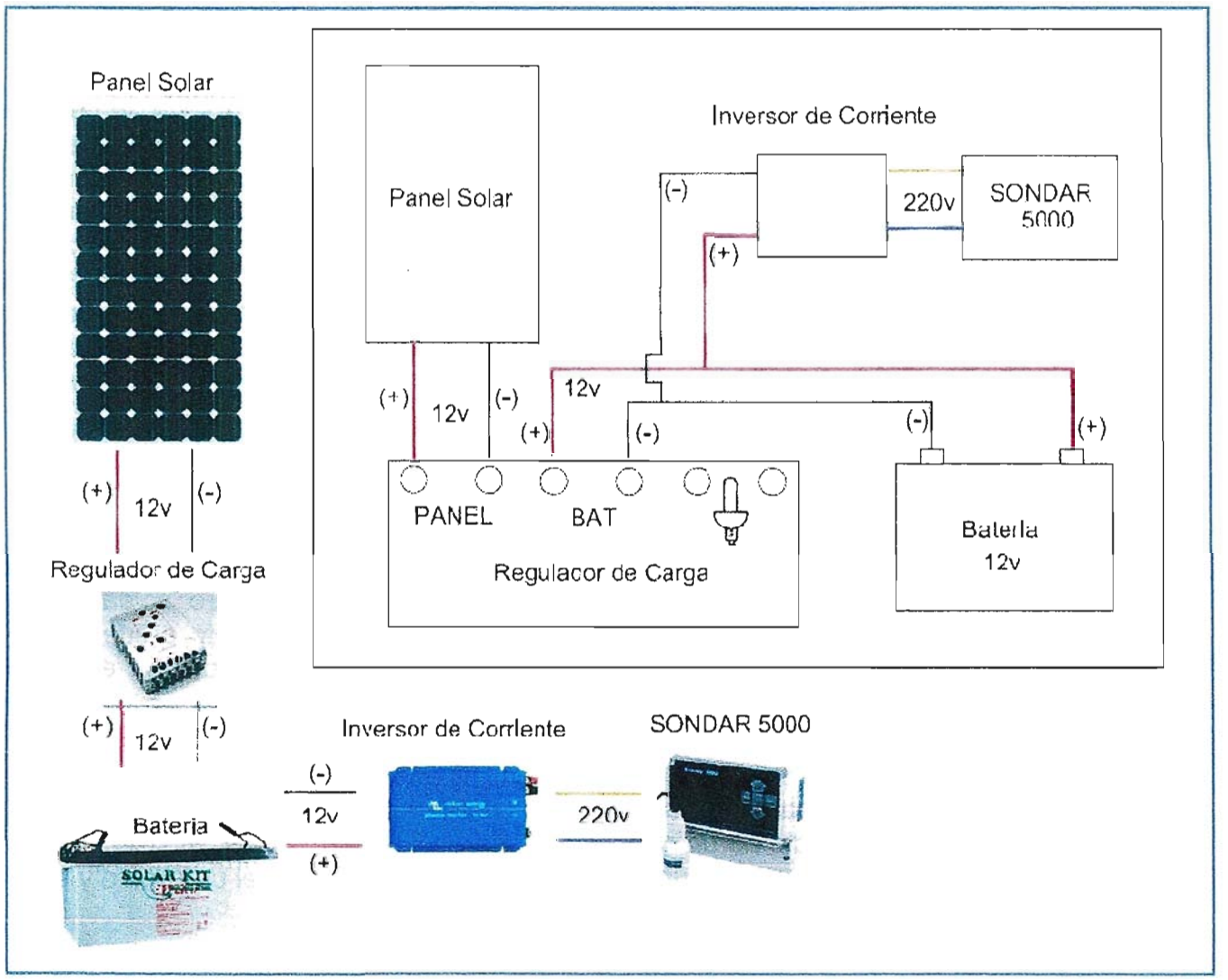
Fuente: Google.com

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

c) Esquema eléctrico

En la Figura 4.3.10.5-3 se muestra el esquema eléctrico del sistema instalado

FIGURA 4.3.10.5-3
ESQUEMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA



Fuente: Elaboración propia.

4.3.10.6. Instalación del Equipo

a) Instalación Canaleta Parshall

Luego de elegir el lugar más apropiado para el emplazamiento de la canaleta se llevo a cabo la instalación. Este trabajo se realizó durante el mes de Mayo con la ayuda de un Ingeniero, un capataz y una cuadrilla de 6 obreros. Aproximadamente tomo unas 3 semanas la instalación completa de esta canaleta. El trabajo se realizó completamente a mano, ya que fue muy difícil el acceso de maquinas pesadas para facilitar la tarea.

Principalmente consistió en desviar el río para poder trabajar en seco, lo cual no fue una tarea fácil, ya que tomó aproximadamente 3 días completarla. Esta tarea se realizó con la ayuda de sacos con tierra y haciendo un canal por el costado derecho del río. Una vez desviado el río se debió emparejar el lugar donde se colocará la canaleta y esperar que secara un poco. Una vez seco el lugar se utilizó hormigón armado para la hacer la loza de entrada, muros y la loza de salida del agua. En la zona de emplazamiento escogida existe una roca bien firme a la cual se fundaron los muros y apoyos. Se instaló también la cañería de 4" de diámetro en donde irá la caseta de instrumentos para la medición. Luego una vez fraguado todo el hormigón se pudo constatar que la canaleta quedó bastante firme y lista para su uso.

b) Instalación Caseta de Instrumentos

Una vez terminada la instalación de la canaleta, se procedió a la instalación de la caseta de instrumentos. Esta caseta está compuesta de placas de acero soldadas de aproximadamente 2 mm de espesor. Posee en su interior un compartimento o suelo falso para los instrumentos y además de una puerta con cerradura para candado. En el Plano AFOR-02 se puede apreciar con más detalle el diseño de la caseta.

Como este método de medición está constituido de aparatos electrónicos fue necesaria la instalación de un panel solar de 75 W de potencia para recargar una batería de 12 V de ciclo profundo, por medio de un cargador especializado de baterías. El sistema está conectado de forma tal que el Sensor ocupa la energía de la Batería para el uso diario y en el día, a medida que haya sol se recarga la batería.

Para terminar la instalación se utilizo pintura anticorrosiva para la caseta y su estructura para protegerla de los rayos solares y la oxidación. Además se sellaron completamente con silicona ultra resistente, las ranuras faltantes para evitar el ingreso de agua y humedad.

En las Figuras 4.3.10.6-1, 4.3.10.6-2, 4.3.10.6-3 y 4.3.10.6-4 se aprecia la caseta terminada y con sus instrumentos funcionando.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.3.10.6-1
CASETA INSTALADA



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4.3.10.6-2
CASETA EN FUNCIONAMIENTO



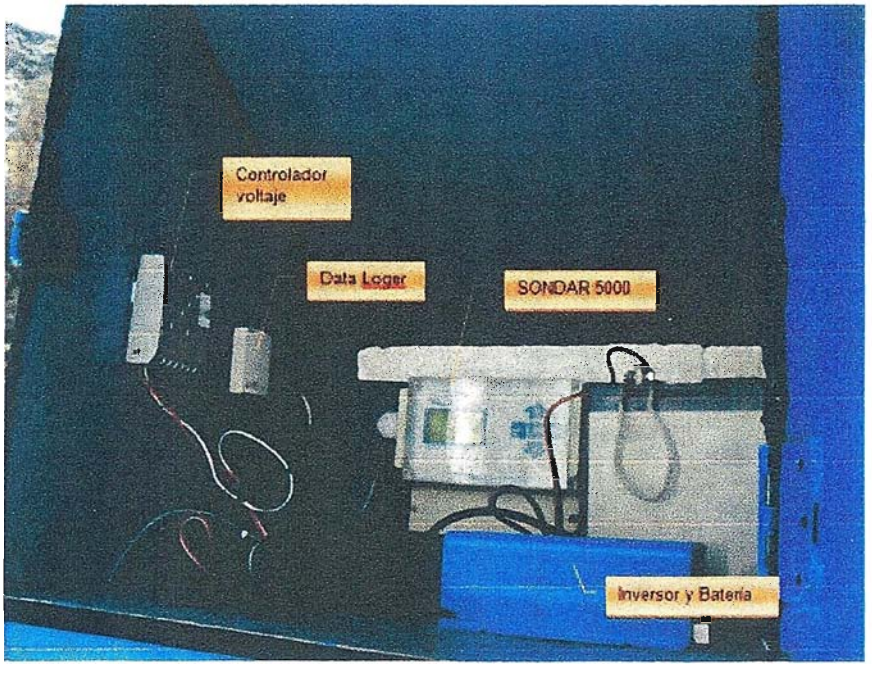
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4.3.10.6-3
CASETA EN FUNCIONAMIENTO. VISTA AGUAS ABAJO



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 4.3.10.6-4
INTERIOR DE LA CASETA



Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

4.4. PROSPECCIONES Y ENSAYOS

4.4.1. Introducción

En este acápite se presentan los resultados de las prospecciones (sondajes, calicatas) y el análisis geofísico (perfiles sísmicos) realizados en la pampa Umirpa, con el fin de sustentar geotécnicamente la vialidad del sitio que será elegido para la implantación de la presa.

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.

4.4.2. Programa de ejecución

Acorde con lo anteriormente expuesto, el programa de prospecciones para la zona de la presa fue el siguiente:

- Ejecución de 9 sondajes distribuidos de la siguiente forma: 2 sondajes de 15 m en los estribos y 1 sondaje de 40 m en el centro del valle para cada uno de los sitios. Las excavaciones consideran un total de 210 m lineales.

  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 ensayes de compresión simple y petrográficos en corte transparente. Registro geológico-geotécnico.
- Excavación de 6 calicatas, 3 de 4 metros y 3 de 6 metros, para cada alternativa de sitio de embalse, con el fin de determinar el espesor de suelo a retirar, para su construcción.

  Realización de ensayes según las características del suelo y su factibilidad, entre los cuales se pueden nombrar:

  - 4 densidades in situ
  - 10 Compresiones no confinadas
  - 6 consolidaciones

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Excavación de 10 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:

  - 1 granulometría gigante.
  - 3 triaxiales tipo CIU en muestra recompactadas al 92% del Proctor Modificado.
  - 4 Proctor Modificado
  - 3 ensayos de Permeabilidad en muestras recompactadas al 92% del Proctor Modificado
  - 3 mediciones de contenido e materia orgánica
  - 3 ensayos de Desgaste de los Ángeles
  - 3 ensayos de Reacción alcálisis Agregado

- Ejecución de 1200 m de perfiles de refracción sísmica, para estimar la calidad de la roca en profundidad en diferentes sectores del sitio de presa.

4.4.3. Descripción de Prospecciones

4.4.3.1. Sondajes

Se realizaron nueve sondajes tal como se estipuló en el programa de prospecciones. Se aplicaron en terreno las pruebas de Lugeon y Lefranc de acuerdo a las características del material encontrado en cada sondaje y, posteriormente, se ejecutaron los ensayos de compresión de roca no confinada y el registro petrográfico a las muestras de roca (obtenidas de los sondajes) en los laboratorios especializados de cada área. En el Cuadro 4.4.3.1-1 se indican los trabajos y ensayos realizados en cada sondaje y el Anexo en el cual se encuentran sus resultados.

CUADRO 4.4.3.1-1
TRABAJOS Y ENSAYOS REALIZADOS EN SONDAJES

Resultados y Ensayos	Realizado /Total	Alternativa 1			Alternativa 2			Alternativa 3			Anexo
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	
Estratigrafía	si	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4-12
Ensayo Lugeon	si	X	X	X	X	-	X	-	-	X	4-13
Ensayo Lefranc	si	-	-	-	X	X	X	X	X	X	
Registro Petrográficos	5	1	1	1	-	1	-	-	-	1	4-14

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

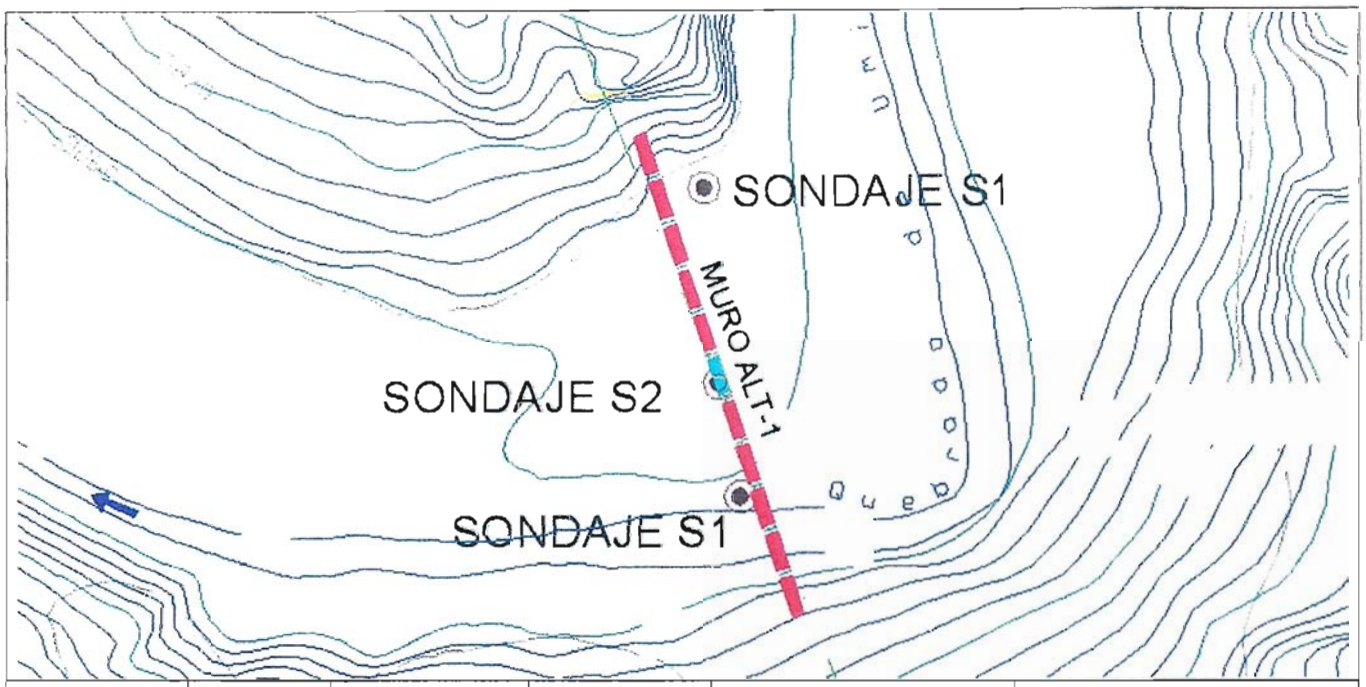
CUADRO 4.4.3.1-1
TRABAJOS Y ENSAYOS REALIZADOS EN SONDAJES

Resultados y Ensayos	Realizado /Total	Alternativa 1			Alternativa 2			Alternativa 3			Anexo
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	
Fotos Cajas	si	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4-15
Registro de Perforaciones	si	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4-16
Compresión y densidad en testigos de Roca	10	2	2	2	-	1	1	-	1	1	4-17

Fuente: Elaboración propia.

En los sondajes S1, S2 y S3 de la alternativa 1 se ha encontrado roca sana a escasos metros del lecho del río. En el sondaje S1 se encontró roca a los 3 m y se mantuvo hasta los 15 m. Se realizaron ensayos de Lugeon obteniendo permeabilidades muy bajas lo que concuerda con el alto RQD observado de la roca que es cercano al 100%. Lo mismo se presentó en los sondajes S2 y S3, en donde se perforó hasta los 20,5 m y 15 m respectivamente. La Ubicación de los sondajes y sus coordenadas UTM se presentan en la Figura 4.4.3.1-1.

FIGURA 4.4.3.1-1
COORDENADAS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDAJES



Alternativa	Sondaje	C. Norte (m)	C. Este (m)	Total perforado (m)	Perforado en roca (m)
1	S1	7.925.042	459.717	15,0	2,80 - 15,00
	S2	7.925.025	459.718	20,5	3,10 - 20,50
	S3	7.925.014	459.720	15,0	3,10 - 15,00

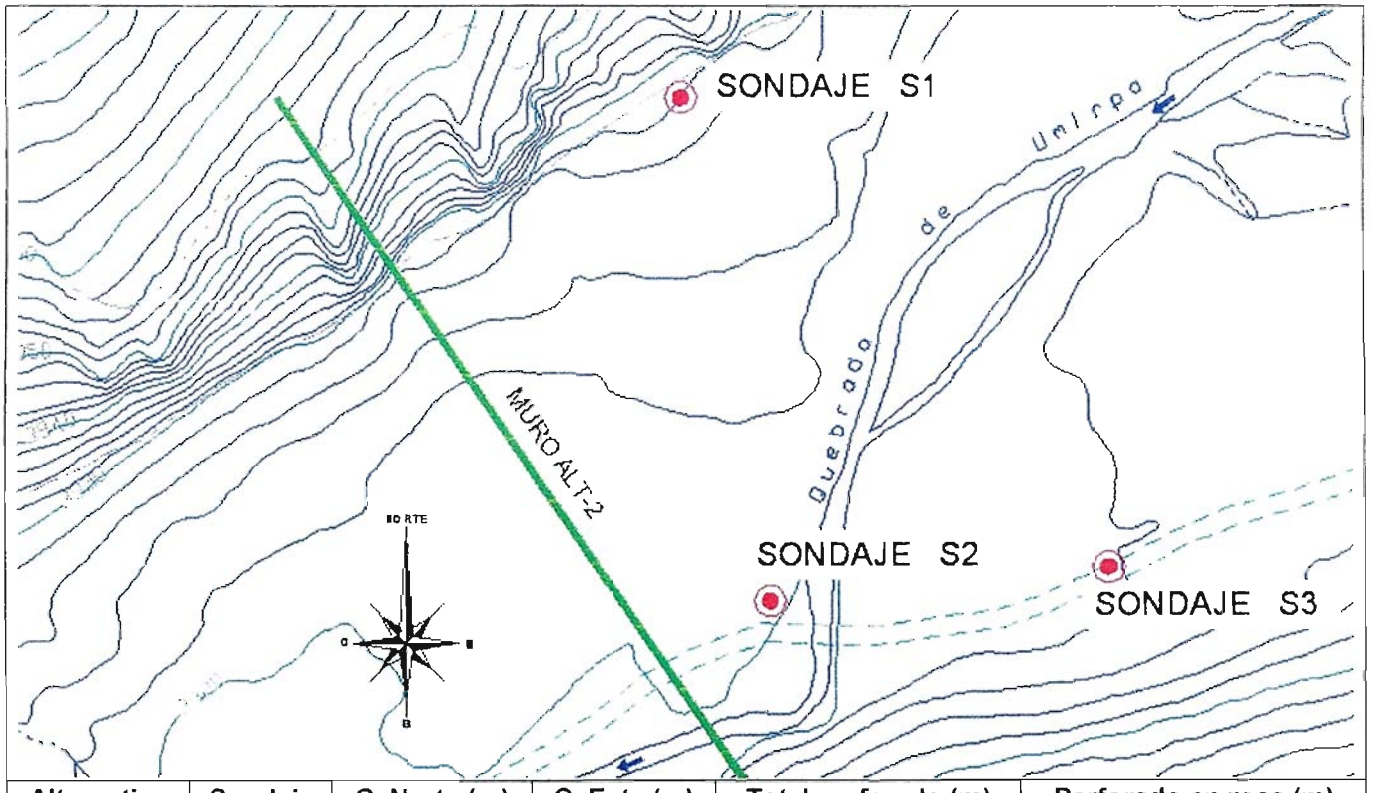
Fuente: Elaboración propia.

En el sondaje S1, S2 y S3 de la alternativa de muro 2 se encontró roca (a los 7 m, 3,6 m y 2,7 m de profundidad respectivamente) de aspecto sedimentario, compuesto por Arenas, Gravas y Gravillas, fuertemente cementadas, color gris marrón, de una dureza media a alta y con presencia de fracturamientos en planos inclinados.

Se realizaron ensayos de Lugeon en los sondajes S1 y S3. En el sondaje S1 se obtuvo una roca sana con un RQD cercano al 90% salvo en el tramo 8,1 – 9,6 donde se obtuvo un RQD bajo de 40%. Por otra parte el sondaje S3 se encontró roca muy fracturada entre los 2,7 a los 8,7 m con un RQD promedio de 47%, desde este punto en adelante se observó una roca sana de un RD promedio igual a 79%. En el sondaje S2 se encontró un tramo de roca fracturada entre los 3,6 y 11,9 metros de la perforación, de ahí en adelante se encontró con un conglomerado altamente cementado. En los sondajes S1, S2 y S3 se realizaron ensayos Lefranc. Para una carga constante se obtuvieron gastos constantes cercanos a los 0,05 L/min y para una carga variable descensos de 37 cm, 20 cm y 24 cm. La Ubicación de los sondajes y sus coordenadas UTM se presentan en la Figura 4.4.3.1-2.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.4.3.1-2
COORDENADAS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDAJES



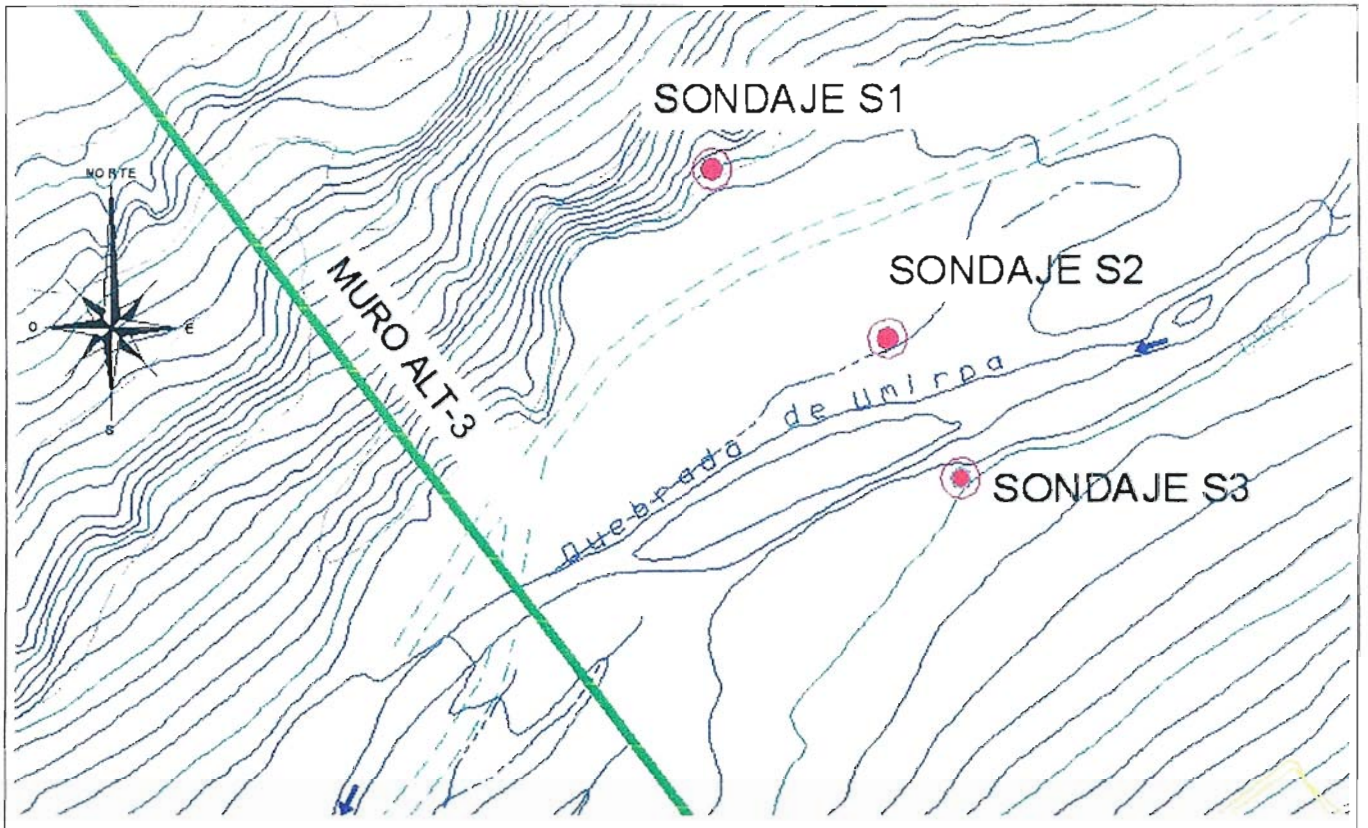
Alternativa	Sondaje	C. Norte (m)	C. Este (m)	Total perforado (m)	Perforado en roca (m)
2	S1	7.927.945	462.989	15,0	7,00 - 15,00
	S2	7.927.860	463.003	40,4	3,60 - 40,40
	S3	7.927.867	463.061	15,0	2,70 - 15,00

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los sondajes realizados en la alternativa 3 de muro se tiene que en el sondaje S1 se observó roca entre los 2 y 9,5 m de aspecto sedimentario, compuesta de limo fuertemente cementada y fracturada con un RQD promedio de 37%, luego cambia la estructura del suelo a una roca fracturada algo porosa. Durante la perforación se topó con napa surgente de alta presión, en cota 12,00 m. El sondaje S2 presenta roca fractura de color gris con un RQD promedio de 45%, al igual que el sondaje S1 se encontró con una napa surgente de alta presión pero esta vez en dos puntos: las cotas 11,60 y en 26,00 m. Por último, en el sondaje S3 se encontró roca de color gris algo fracturada con valores de RQD de 60%.

Por la surgencia de las napas en los sondajes S1 y S2 solo se realizaron ensayos Lefranc alrededor de los 5 m de profundidad. Por otro lado, en el sondaje S3 se realizaron ensayos Lefranc y Lugeon. La Ubicación de los sondajes y sus coordenadas UTM se presentan en la Figura 4.4.3.1-3.

FIGURA 4.4.3.1-3
COORDENADAS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDAJES



Alternativa	Sondaje	C. Norte (m)	C. Este (m)	Total perforado (m)	Perforado en roca (m)
3	S1	7.928.872	464.766	12,4	1,80 - 12,40
	S2	7.928.849	464.790	26,0	3,00 - 26,00
	S3	7.928.830	464.800	15,0	2,50 - 15,00

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.2. Calicatas y Yacimientos

Se realizaron las 28 calicatas indicadas en el **PLANO CAL-01**. En todas ellas, el material encontrado fueron gravas arenosas y el nivel de la napa se encontraba a escasos metros del suelo, por lo que no se pudo continuar hasta los 4 y 6 metros.

Debido a la ausencia de suelos finos no se realizaron los ensayos de consolidación no confinada, compresión simple, densidad in situ y Triaxiales. El resto de los ensayos indicados en el programa fueron realizados.

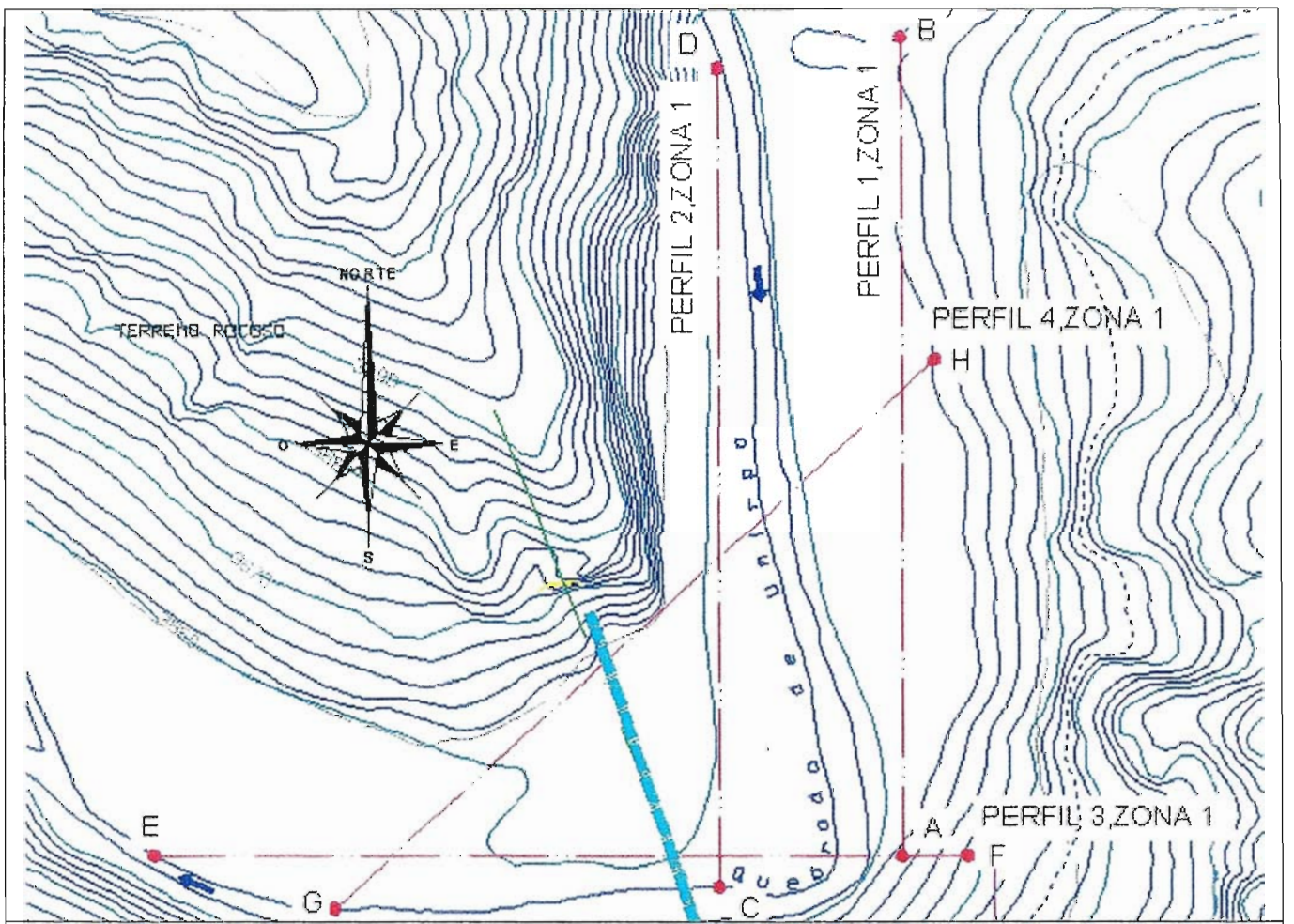
La ubicación de las calicatas en los sitios alternativos y destinadas a detectar yacimientos se presentan en el **PLANO CAL-01.**

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

4.4.3.3. Perfiles de refracción sísmica

Se realizaron 1.300 m de perfiles de refracción sísmica repartidos entre los tres sitios alternativos de muro. La configuración y distribución se presenta en las Figuras 4.4.3.3-1, 4.4.3.3-2 y 4.4.3.3-3.

CUADRO 4.4.3.3-1
CONFIGURACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PERFILES SÍSMICOS ALT 1

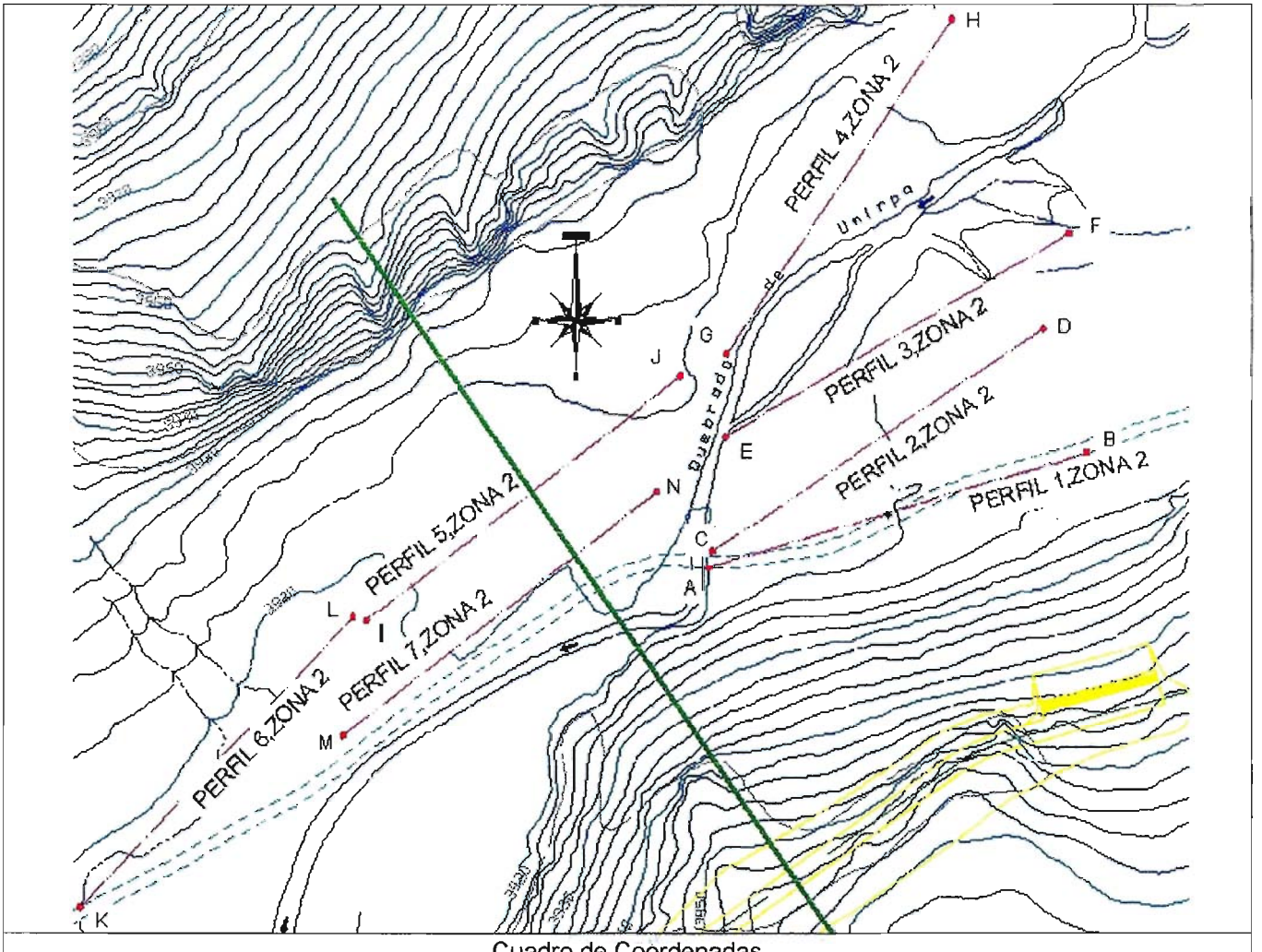


Cuadro de Coordenadas

Perfil	Nombre	Norte (m)	Este (m)	Longitud (m)
P1	A	7.925.017	459.759	100
	B	7.925.117	459.749	
P2	C	7.925.013	459.727	100
	D	7.925.113	459.727	
P3	E	7.925.017	459.657	100
	F	7.925.017	459.657	
P4	G	7.925.011	459.679	100
	H	7.925.078	459.753	

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 4.4.3.3-2
CONFIGURACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PERFILES SÍSMICOS ALT 2



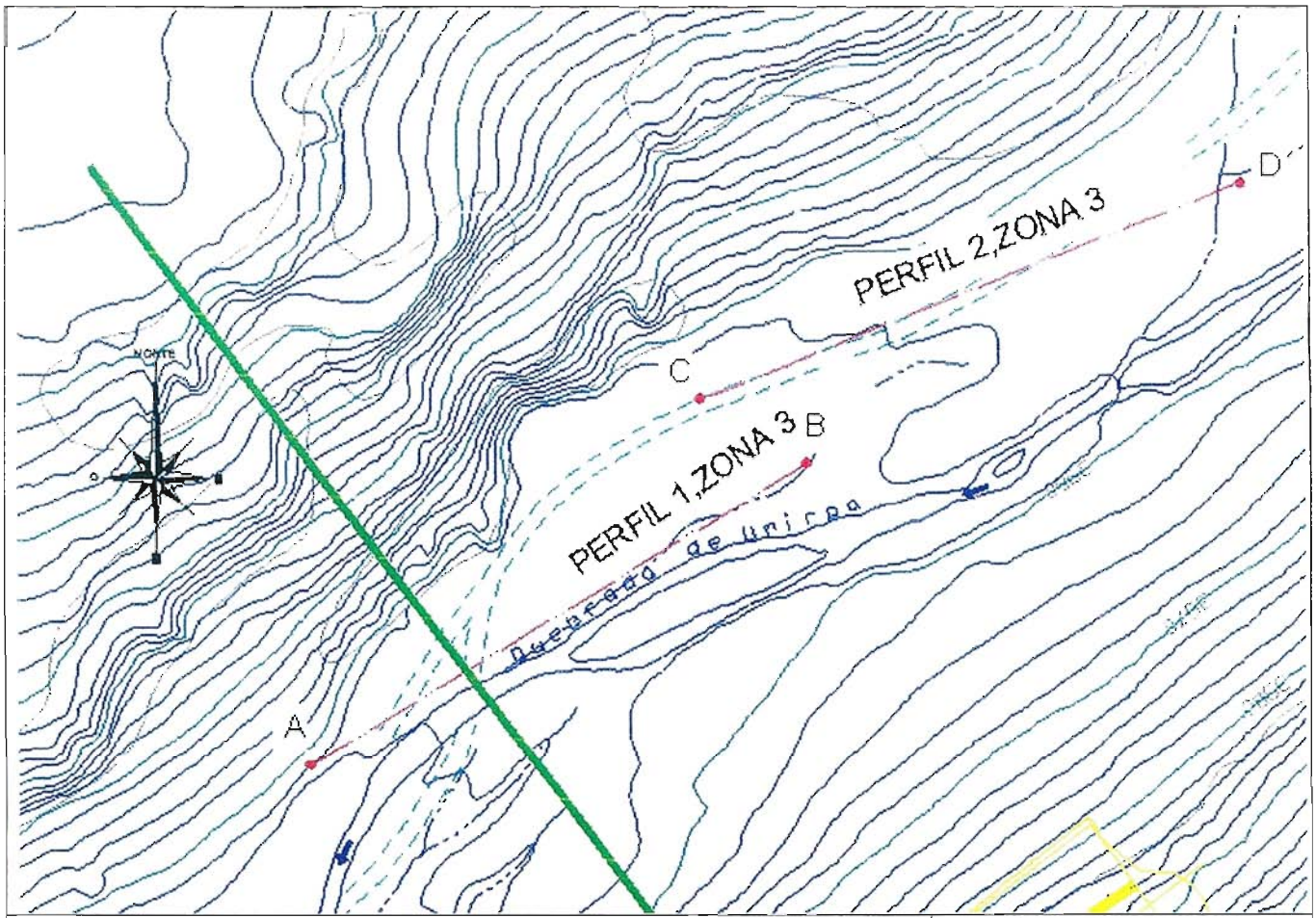
Cuadro de Coordenadas

Perfil	Nombre	Norte (m)	Este (m)	Longitud (m)
P1	A	7.927.853	463.015	100
	B	7.927.882	463.111	
P2	C	7.927.858	463.017	100
	D	7.927.913	463.100	
P3	E	7.927.886	463.020	100
	F	7.927.936	463.106	
P4	G	7.927.907	463.020	100
	H	7.927.989	463.077	
P5	I	7.927.840	462.929	100
	J	7.927.901	463.008	
P6	K	7.927.769	462.856	100
	L	7.927.841	462.925	
P7	M	7.927.812	462.923	100
	N	7.927.828	463.002	

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.4.3.3-3
CONFIGURACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PERFILES SÍSMICOS ALT 3



Cuadro de Coordenadas

Perfil	Nombre	Norte (m)	Este (m)	**Longitud (m)**
P1	A	7.928.802	464.711	100
	B	7.928.853	464.797	
P2	C	7.928.864	464.778	100
	D	7.928.900	464.871	

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

4.4.4. Resultado de Ensayos

4.4.4.1. Sondajes

Las estratigrafías de los sondajes se resumen en el Cuadro 4.4.4.1-1, la descripción de cada horizonte se presenta en el Anexo 4-12. A modo de ejemplo se presenta la descripción del sondaje S1 de la alternativa 1 en el Cuadro 4.4.4.1-2.

CUADRO 4.4.4.1-1
RESUMEN DE ESTRATIGRAFÍAS

ALT.	Sondaje	Fecha Observación	Nivel de Agua en Sondaje (m)	Nº Hor. (*)	Total perforado (m)	Perforado en roca (m)	Observaciones
1	S1	17-06-2012	1,85	2	15,0	2,80 - 15,00	-
	S2	05-06-2012	0,30	2	20,5	3,10 - 20,50	-
	S3	11-06-2012	0,40	2	15,0	3,10 - 15,00	-
2	S1	03-07-2012	2,07	3	15,0	7,00 - 15,00	-
	S2	26-06-2012	0,25	3	40,4	3,60 - 40,40	-
	S3	04-07-2012	1,57	3	15,0	2,70 - 15,00	-
3	S1	06-07-2012	0,00	3	12,4	1,80 - 12,40	Se detecta Napa surgente de alta presión, en cota 12,00 m
	S2	17-07-2012	0,00	6	26,0	3,00 - 26,00	Se detecta napa surgente de alta presión en cota 11,60 y en 26,00 m
	S3	04-07-2012	1,57	8	15,0	2,50 - 15,00	-

(*): Nº Hor. = Número de horizontes
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 4.4.4.1-2
DESCRIPCIÓN SONDAJE S1 ALTERNATIVA 1

Horizonte	Cotas Límites (m)		Espesor (m)	Descripción del material
	Desde	Hasta		
1	0,00	2,80	2,80	Gravas Arenosas, color grisaceo, humedad media a alta, compacidad alta, Gravas de cantos redondeados a sub redondeados, tamaño máximo de 3½".
2	2,80	15,00	12,20	Roca, sana y compacta, color marrón grisaceo, dureza alta.

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Se realizaron en terreno los ensayos de la Lugeon y Lefranc según el tipo de material encontrado durante la perforación. En los Cuadros 4.4.4.1-3 y 4.4.4.1-4 se resumen los resultados de dichos ensayos. El detalle se encuentra disponible en el Anexo 4-13.

CUADRO 4.4.4.1-3
RESUMEN ENSAYOS LUGEON MEJORADO

Alternativa	Sondaje	Tramo de Ensayo	Caudal Admitido (Litros)
1	S1	5,0-10,0	0
		10,0-15,0	0
	S2	5,0-10,0	0
		10,0-15,0	0
		15,5-20,5	0
	S3	6,0-11,0	0
		10,0-15,0	0
2	S1	7,6-12,6	20,3
		10,0-15,0	28,6
	S3	5,2-10,2	11,6
		10,0-15,0	15,3
3	S3	4,6-9,6	8,3
		11,0-15,0	16,6

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 4.4.4.1-4
RESUMEN ENSAYOS LEFRANC-MANDEL

Alternativa	Sondaje	Tramo de Ensayo	Nivel de Agua en Sondaje (m)		Carga Constante	Carga Variable
			Antes	Después	Gasto Constante , tiempo de estabilización 600 seg (Lt/min)	Máx Descenso en 60 min (cm)
2	S1	4,0-5,0	1,03	0,37	0,05	37
	S2	13,9-14,9	0,25	0,15	0,04	15
		19,9-20,9	0,35	0,21	0,05	21
		24,4-25,4	0,37	0,2	0,05	20
		18,9-29,9	0,73	0,23	0,05	23
		34,9-35,9	0,89	0,17	0,04	17
		39,4-40,4	0,63	0,19	0,04	19
	S3	4,7-5,7	0,43	0,23	0,05	24
3	S1	4,8-5,8	0,03	0,02	-	2
	S2	3,8-4,8	0,24	0,12	0,04	12
	S3	4,1-5,1	0,16	0,08	0,03	8

Fuente: Elaboración propia.

En el registro petrográfico se realiza una descripción tanto macroscópica como microscópica de la roca que permite catalogar específicamente su tipo. En el Cuadro 4.4.4.1-5 se resume los resultados del informe petrográfico. La descripción en detalle se adjunta en el Anexo 4-14.

CUADRO 4.4.4.1-5
RESUMEN INFORME PETROGRÁFICO

Alternativa	Sondaje	Muestra	Cota (m.s.n.m.)	Nombre de la roca
1	1	A1 S1	13,50-13,90	Toba dacítica
	2	A1 S2	17,2	Toba dacítica retrabajada
	3	A1 S3	11,38-11,70	Toba retrabajada con predominio de material dacítico
2	2	A2 S2	7,40-7,52	Toba retrabajada con mayor grado de alteración.
3	3	A3 S3	10,60-10,75	Andesita

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 4.4.4.1-1. El registro fotográfico de los sondajes se presenta en el Anexo 4-15.

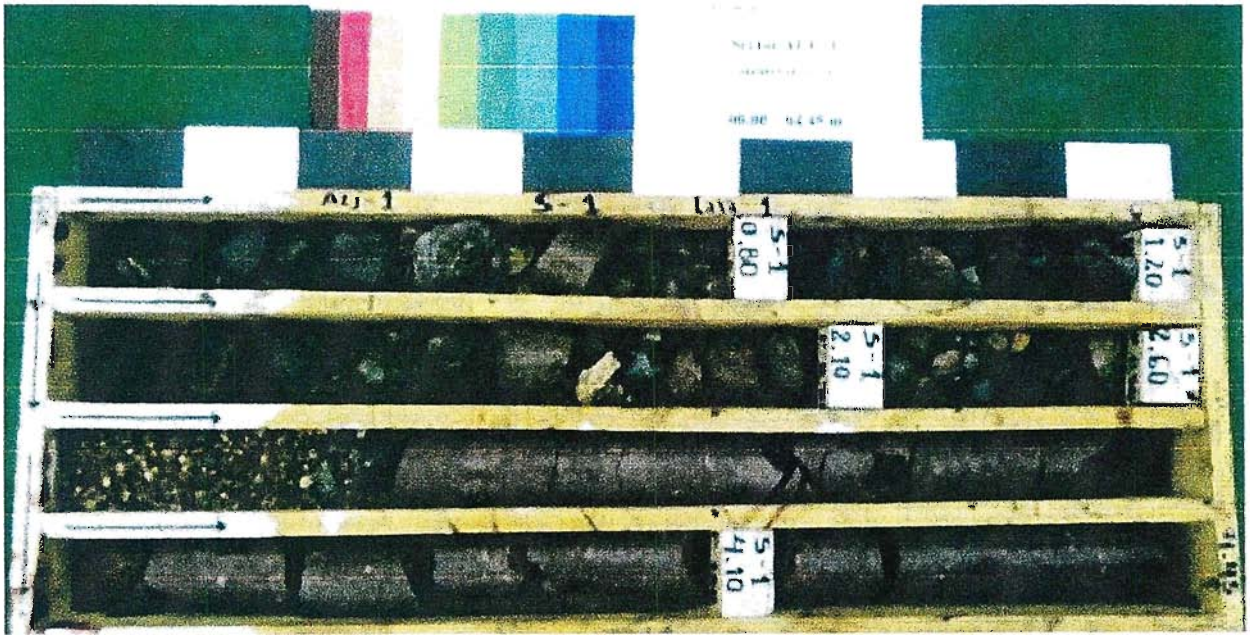
Durante la realización de los sondajes se lleva un registro de perforación, en el cual se indica la longitud de avance de cada carrera, la recuperación de los testigos y se calcula el RQD (Rock Quality Designation) que se define de la siguiente manera:

$$RQD = 100 \cdot \frac{\sum(L_{Trozos>10cm})}{L_{Carrera}}$$

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). En el Cuadro 4.4.4.1-6 se presenta el registro de perforación del sondaje S1 de la alternativa 1, el resto de los registros se encuentran en el Anexo 4-16.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.4.4.1-1
REGISTRO FOTOGRÁFICO SONDAJE S1 ALT-1 (0,0-4,45)



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 4.4.4.1-6
REGISTRO DE PERFORACIÓN SONDAJE S1 ALT-1

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	0,80	80	55									Grava Arenosa
0,80	1,20	40	30									Grava Arenosa
1,20	2,10	90	65									Grava Arenosa
2,10	2,60	50	20									Grava Arenosa
2,60	4,10	150	145	0							0%	Contacto con roca desde los
4,10	5,60	150	150	131	12	37	47	35			87%	Roca Sana
5,60	7,10	150	150	131	12	14	28	11	33	33	87%	Roca Sana
7,10	8,60	150	150	148	33	27	13	25	50		99%	Roca Sana
8,60	10,00	140	140	134	13	49	16	27	13	16	96%	Roca Sana
10,00	11,50	150	150	137	137						91%	Roca Sana
11,50	13,00	150	150	136	73	63					91%	Roca Sana
13,00	14,00	100	100	89	11	78					89%	Roca Sana
14,00	15,00	100	100	91	91						91%	Roca Sana

Fuente: Elaboración propia.

Por último se resumen en el Cuadro 4.4.4.1-7 los resultados obtenidos de los ensayos de compresión de roca no confinada, densidad y porosidad. El detalle se adjunta en el Anexo 4-17.

CUADRO 4.4.4.1-7
COMPRESIÓN, DENSIDAD Y POROSIDAD DE TESTIGOS DE ROCA

Alternativa	Sondaje	Muestra	Profundidad	L (mm)	D (mm)	Tensión de Corte (MPa)	Humedad (%)	Porosidad (%)	Densidad seca (Kg/L)
1	1	A1S1	10,00 – 10,20m	148	60	103	0,9	2,8	2,47
		A1S1	8,60 – 8,75m	104	60	117	1,8	6,5	2,40
	2	A1S2	19,90 - 20,40m	144	60	132	1,2	3,7	2,45
		A1S2	16,10 – 16,23m	119	60	139	1,2	4,4	2,46
		A1S2	14,80 – 15,00m	137	60	125	0,9	3,1	2,47
	3	A1S3	14,15 – 14,50m	146	60	140	1,1	3,1	2,48
		A1S3	8,35 – 8,58m	145	61	136	1	3,2	2,44
2	2	A2S2	13,60 – 13,75m	133	55	9	4,6	36,4	1,63
	3	A2S3	14,70 – 15,00m	124	59	43	7,4	19,9	1,98
3	3	A3S3	14,00 – 14,30m	153	61	9	4,2	32,2	1,78

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.2. Calicatas

Las estratigrafías de las calicatas en las alternativas de muro y en los yacimientos se presentan en el Anexo 4-18. Se cuenta a demás con un registro fotográfico de las calicatas adjuntado en el Anexo 4-19.

Los resultados de los ensayos realizados a las calicatas en cada una de las alternativas y en los yacimientos se presentan en el Cuadro 4.4.4.2-1. El detalle de los ensayos se presenta en el Anexo 4-20.

CUADRO 4.4.4.2-1
RESUMEN DE ENSAYOS DE MUESTRAS EN CALICATAS

Ensayo	Calicatas Alt1						
	1	2	3	3	4	5	6
Límite Líquido		26					
Límite Plástico		23,3					
Índice Plasticidad	NP	3	NP	NP	NP	NP	NP
DMCH				2256			
Humedad Óptima				11,1			
DMCS				2031			
Humedad Natural	6,6	12,2	28,6	11,4	6,4	29,8	4

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 4.4.4.2-1
RESUMEN DE ENSAYOS DE MUESTRAS EN CALICATAS

Ensayo	Calicatas Alt2						
	1	2	3	4	5	6	6
Índice Plasticidad	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
DMCH		2049					
Humedad Óptima		11					
DMCS		2026					
Humedad Natural	5	5,4	13,7	16,2	10,7	15,1	23,1

Ensayo	Calicatas Alt3					
	1	2	3	4	5	6
Límite Líquido			28		29	27
Límite Plástico			23,3		24,5	23,7
Ínice Plasticidad	NP	NP	5	NP	5	3
DMCH						2256
Humedad Óptima						11,2
DMCS						2256
Humedad Natural	5,3	4,9	11,9	6,4	6,1	6,3

Ensayo	Calicatas Yacimientos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Límite Líquido								26		
Límite Plástico								23,3		
Ínice Plasticidad	NP	NP	4	NP	NP	NP	NP	3	NP	NP
DMCH								2253		
Humedad Óptima								12		
DMCS								2012		
Humedad Natural	2,5	11,3	5,9	5,4	13,3	8,7	5,8	7,9	6,1	4,3
Desgaste de los Ángeles	27,9		26,2					20,3		
Inpureza Orgánica		Presencia	Presencia			Indicio				
Materia Orgánica (%)		5,1	5,3			3,8				
Sílice Disuelta (milimoles/litro)		13	12			12				
Reducción Alcalina (milimoles/litro)		230	210			220				
Reacción Alcalis-Agregado		No dañina	No dañina			No dañina				

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.3. Perfiles Geosísmicos

Los resultados de la interpretación de los perfiles sísmicos de refracción se pueden observar en el Anexo 4-21. En estas figuras se muestran los gráficos tiempo-distancia que son el reflejo de las configuraciones utilizadas en terreno.

Cada sección muestra las capas o estratos calculados y las velocidades reales de las ondas con sus respectivos espesores. En el Cuadro 4.4.4.3-1 muestra un resumen de estos resultados.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

CUADRO 4.4.4.3-1
RESUMEN RESULTADOS PERFILES SÍSMICOS

	Perfil	E~1erest. m	Veloc. m/seg	E~2doest. m	Veloc. m/seg	Prof~3erest. m	Veloc. m/seg
Alternativa 1	1, Fig 3	2	1250	>2	4140		
	2, Fig 4	3	1650	>3	4870		
	3, Fig 5	- 3	560	>2 - 3	4170		
	4,Fig 6	1 - 2	800	4 - 6	2600	>6 - 7	4650
Alternativa 2	1, Fig 7	1 – 2	590	8 – 11	2780	>9 – 13	4170
	2, Fig 8	2	515	5 – 8	1710	>7 – 10	3960
	3,Fig 9	5	550	>5	4080		
	4, Fig10	8 – 13	2380	>8 – 13	3600		
	5, Fig 11	5	1000	>5	3170		
	6, Fig 12	1.5	430	6 – 7.5	2020	>7.5 – 9	3060
	7, Fig 13	1	1000	5 – 10	2300	>6 – 11	2920
Alternativa 3	1, Fig 14	1 – 2	1000	7 – 10	2500	>8 – 12	3270
	2, Fig 15	2	1000	10 - 13	2220	>12 - 15	4300

E = espesor est= estrato Veloc = velocidad Prof= profundidad
Fuente: SEGMI

Para caracterizar los materiales del subsuelo en cuanto a su calidad geotécnica se utilizó una aproximación a la información inédita obtenida en el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, Cuadro 4.4.4.3-2.

CUADRO 4.4.4.3-2
CARACTERIZACIÓN SEGÚN VELOCIDAD

Vp m/seg	Tipo de Material
400 - 1000	Suelo superficial, finos, arenas, vegetal y otros
1000 - 2500	Roca meteorizada a suelos compactos
2500 - 2900	Roca meteorizada a rocas sanas
>2900	Rocas sanas
----------	Límite de penetración de la onda sísmica de acuerdo a la longitud del perfil sísmico

Fuente: Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile

Las velocidades de rocas y suelos pueden variar en un rango amplio, estas variaciones dependen fundamentalmente del grado de meteorización en la que se encuentren.

Los materiales sedimentarios naturales como gravas, arenas, escombros de falda u otros también presentan un rango de velocidades amplio, los cuales dependerán

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

fundamentalmente de su grado de consolidación, tamaño del grano, contenido de agua y edad geológica. Estos pueden variar aproximadamente entre 300 a 2600 m/seg.

Alternativa 1: Las velocidades encontradas en el segundo estrato de los Perfiles 1, 2, 3 corresponderían a roca de alta calidad geotécnica. El segundo estrato del Perfil 4 correspondería a rocas de regular calidad geotécnica, 2600 m/seg y el tercer estrato calculado representa la roca sana de alta calidad geotécnica.

Alternativa 2: En general la roca sana se encontró en todos los perfiles de esta área, solamente varió la profundidad de acuerdo a la ubicación en que fueron realizados. Esta profundidad varió entre 5 a 13 metros, Perfiles 1 a 4.

Alternativa 3: La roca sana se encontró entre 12 y 15 metros en los Perfiles 1 y 2.

4.4.5. Análisis y Conclusiones

De los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- Los ensayos Lugeon indican que la permeabilidad de la roca del sitio 1 es prácticamente nula ya que al cargarla hasta 10 kg/cm^2 la prueba no admitió caudal. Diferente es el caso de los ensayos realizados en los sitios 2 y 3 en donde se admitió un caudal promedio de 19 y 12 L/min respectivamente.

- La existencia de napas surgentes en la alternativa de sitio 3 genera problemas de estabilidad tanto en los muros de gravas como en los muros sólidos. En los muros de grava se genera un lavado de las partículas más pequeñas por el efecto del flujo de agua y en los muros tipo RCC genera fuerzas volcantes.

- Los ensayos de compresión no confinada indican que la tensión de corte de la roca encontrada en el sitio 1 es de 130 MPa promedio, es decir, es una roca muy buena para el emplazamiento de un muro (Un hormigón H30 soporta 30 Mpa). Además se tiene una porosidad promedio de 3,8% y una densidad de 2,45 Kg/L. En el caso de los sitios 2 y 3 la tensión de corte es de 26 y 9 Mpa promedio respectivamente, con porosidades mayores a las del sitio 1(28 y 32%) y por ende densidades menores (1,81 y 1,79 Kg/L). Estos resultados se complementan con los valores de RQD obtenidos en los sitios 1, 2 y 3 que fueron en promedio de 95%, 76% y 45% respectivamente.

- La alternativa de sitio 1 presenta las mejores condiciones para emplazar una presa debido a la calidad de la roca y a su cercanía con la superficie de acuerdo a los resultados arrojados por el análisis geofísico y los ensayos realizados tanto en terreno como en laboratorio.

- Desde el punto de vista de los materiales disponibles para empréstitos, existe una gran cantidad de gravas arenosas, lo que constituiría en un empréstito muy atractivo, tanto para una presa de gravas como para una de hormigón rodillado. A pesar de lo anterior, existiría problemas por efecto de la napa que aumentaría el costo por la extracción de los materiales. Este escenario debería mejorar ya que el nivel alto de la napa freática se atribuye a que este es un año húmedo, y por tanto la disponibilidad de agua es mayor.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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. RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS PARA LA PRESA

5.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se presentan las labores relativas a la identificación y evaluación, técnico económica simplificada de los tres sitios de embalse seleccionados para escoger el más favorable. En la evaluación técnico económica simplificada se efectúan prediseños simplificados y se determinan sus costos aproximados, además de evaluar otros aspectos técnicos que pueden incidir en la elección del sitio.

La identificación dice relación con el análisis de las características de cada uno de los sitios, en relación a diferentes aspectos que influyen en la decisión del sitio a seleccionar 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 tres sitios de embalse.

Preliminarmente, se identificaron cuatro sitios de embalse denominados como alternativa 1, 2, 3 y 4. Luego de un primer diagnóstico fue descartada la alternativa 4 debido a que las características geológicas en el sitio de la presa no aseguran la acumulación de agua en el embalse. Dicha situación se debe a que no se tiene certeza del largo de las fisuras y grietas presentes en la formación rocosa de los costados del embalse, y por lo tanto, las aguas acumuladas podrían ser trasvasadas aguas abajo del muro. (Ver Anexo 5-1).

En la Figura 5.1-1, se indica la ubicación de las tres alternativas a analizar, las que se denominaron de la siguiente forma:

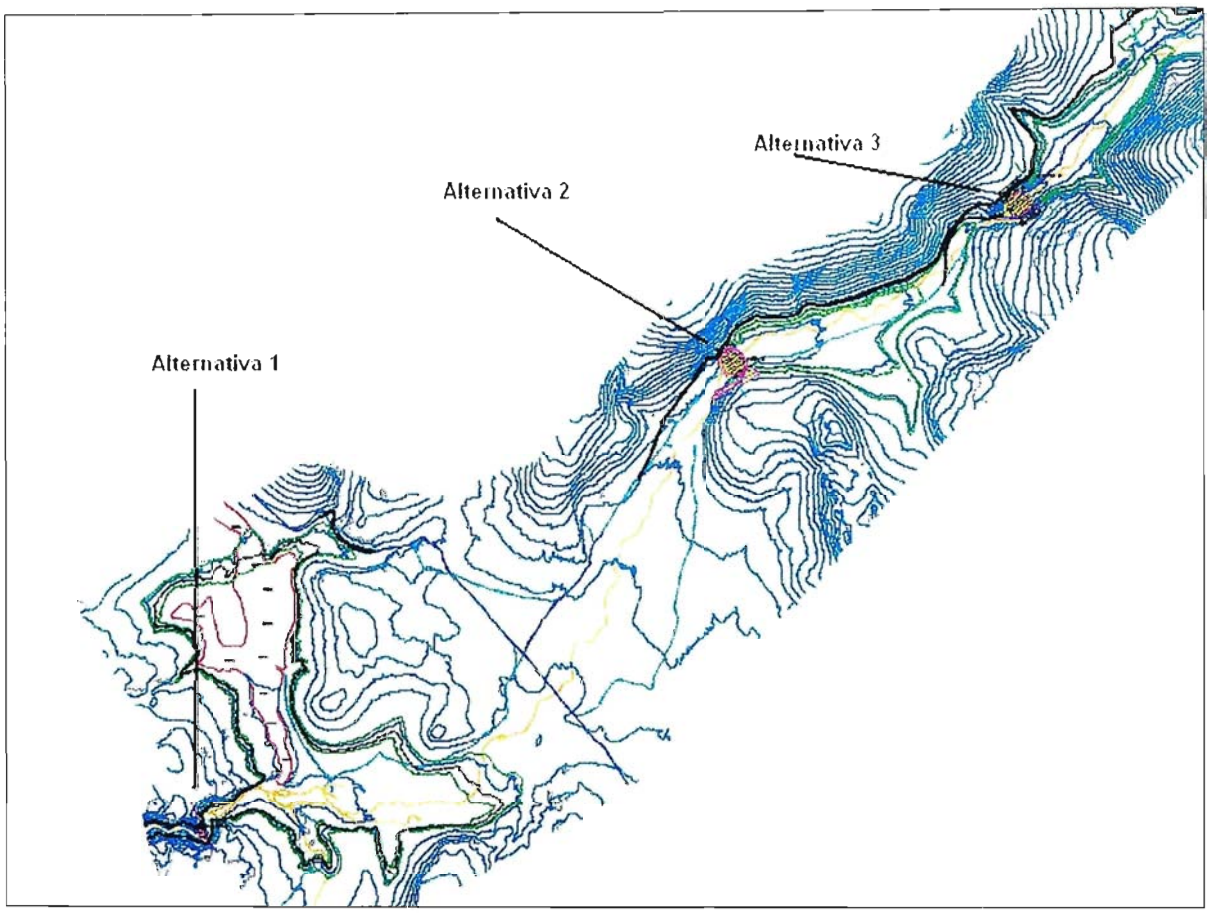
- Alternativa 1: Propuesta por el Departamento de Proyectos de Riego (2005) la de más aguas abajo.
- Alternativa 2: La intermedia
- Alternativa 3: La de más aguas arriba

Las alternativas se presentan adicionalmente en el Plano GEN-01.

Se realizaron los trabajos de terreno necesarios para elaborar los diseños simplificados de la presa en los emplazamientos identificados. Estos trabajos de terreno, 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 la restitución aerofotogramétrica, la topografía y los catastros de infraestructura realizados para este estudio.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 5.1-1
IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE EMBALSE



Fuente: Elaboración propia

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, 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, apoyándose en planos de escala 1:2.000. Por tratarse de un análisis comparativo, no se incluyeron aquellos costos que son equivalentes para las tres 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, el emplazamiento más adecuado que será estudiado a nivel de prefactibilidad.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

5.2. ANÁLISIS DE ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

5.2.1. Introducción

El presente documento presenta los resultados de un breve reconocimiento geológico de los terrenos comprometidos en un proyecto, a nivel de prefactibilidad, para la construcción de un embalse para la acumulación de aguas para riego en quebrada Vítor, (*en adelante*: PCERU), ubicados en sendos segmentos del valle de la quebrada Umirpa, comuna de Putre, Región de Arica y Parinacota.

En su momento, una serie de estudios previos sustentados, muy principalmente, en consideraciones morfológicas e hidrológicas, derivaron en la identificación de 3 sitios alternativos para el emplazamiento de muros y sus respectivas estructuras anexas. De acuerdo a ello, los sitios alternativos recibirán las denominaciones convencionales (desde aguas abajo hacia aguas arriba) de Umirpa 1, o AU -1, Umirpa 2 o AU - 2 y Umirpa 3 o AU - 3 (ver Plano GEN-01).

Conforme a la programación de actividades impuestas por el Mandante, su contenido, centrado en información morfogeológica, estructural, geotécnica y de riesgos geológicos de alcance y carácter regional, incluye una opinión respecto de las señaladas materias, destinadas a apoyar y fundamentar la selección de un sitio definitivo para el emplazamiento del muro del Proyecto. En el sitio seleccionado y su entorno inmediato, se centrarán las futuras etapas del PCERU.

Los reconocimientos directos de los terrenos comprometidos en los respectivos emplazamientos de los 3 muros alternativos, se realizaron entre los días 9 y 11 de mayo del año 2012, en compañía de los Ings. Consultores Srs. Luis Arrau del Canto, Donaldo Astorga y Diego Mena P., de la consultora LUIS ARRAU DEL CANTO, EIRL, junto a la Ing. Sra. Tania Fernandez R y Sr. Marcelo Díaz, Coordinadora del Proyecto y Encargado Regional de la Comisión Nacional de Riego, respectivamente.

Por su parte, la principal base referencial de respaldo geológico regional de la zona objeto del estudio, corresponde a un levantamiento escala 1:250.0000 efectuado por ***García, G., M,*** et al, (2004), complementado con fuentes alternativas correspondientes a: ***Salas,* O**, ***R,*** et al (1966); ***Riquelme*** (1998); ***Mortimer, C.***; ***Salas, O.R.***, (1967) y ***Niemeyer, H***, (1964)

5.2.2. Marco Geomorfológico General

Desde el punto de vistas geomorfológico, los terrenos comprometidos en el PCERU se insertan en un ambiente geomorfológico caracterizado por un elongada franja de orientación cercanamente N - S, con un ancho medio de aproximadamente 50 a 52 km, y alturas en el rango de 1.000 a 1.500 msnm. Incluye, muy principalmente, una extensa planicie con leve inclinación 1 a 5° hacia el O, SO, conocida como Pampa Oxaya, integrada por una potente secuencia de depósitos volcánicos a volcanoclásticos, que participan del extremo S de la zona prealtiplánica de la región de Arica – Parinacota. El señalado rasgo

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

morfológico se observa disectado por una serie de rectilíneas y profundas quebradas subparalelas: Vítor y Camarones, entre otras que, finalmente, vierten sus aguas al Océano.

Los 3 sitios alternativos para los emplazamientos de los muros del embalse Umirpa, comprometen un segmento de 6,8 km correspondiente a las cabeceras de la hoya hidrográfica de la quebrada Vítor, que participa de la Precordillera Altiplánica, con alturas medias en el rango de 3.200 a 3.500 msnm. Involucra terrenos provistos de superficies regulares relativamente continuas, con suave inclinación hacia al O, solamente interrumpidos por el desarrollo semi rectilíneo de la quebrada Vítor.

Los 2 mayores sistemas de drenaje involucrados en la zona objeto de estudio, correspondiente a las quebradas Vítor (2.269 km^2) y Camarones, (2.344 km^2) ambos son exorreicos, esto es, drenan el flanco occidental de una serie de activos relieves volcánicos, desaguando al borde litoral, Océano Pacífico.

En el segmento de aproximadamente 6,8 km de la quebrada Umirpa comprometido en los 3 sitios alternativos vigentes para el emplazamiento de los muros de los embalses, objeto de análisis y selección definitiva, en el presente estudio, su actual cauce se desarrolla en el fondo de una amplia llanura de inundación, bastante bien enmarcada entre empinadas paredes rocosas, correspondientes a materiales volcánicos, volcano clásticos y sedimentarios; concordante con este carácter.

5.2.3. Marco Geológico de los Terrenos Comprometidos en el Emplazamiento Alternativo de los 3 Muros

A objeto de facilitar a nivel global o regional, la comprensión de los aspectos morfológicos, geológicos, estructurales y geotécnicos de cada uno de 3 sitios alternativos para el emplazamiento de los muros objeto de estudio, se hará una caracterización pormenorizada de acuerdo a una asignación desde aguas abajo, hacia aguas arriba; los ejes de cada sitio, están indicados en la Plano GEN-01. Corresponden a: AU -1, tipo RCC, a base de hormigón compactado mediante rodillo y AU 2 y SA 3, tipo CGD homogéneo, a base de gravas compactadas, concordantes con estructuras cuyas alturas, preliminarmente, fluctuarían entre los 21 y 30 m, en condiciones de almacenar entre 30 y 35 millones de m^3 de agua, respectivamente.

La información geológica de los terrenos comprometidos en el emplazamiento de cada una de las 3 alternativas objeto de estudio y sus respectivos entornos inmediatos, se presenta en un plano escala 1.7.500, incluyendo 3 perfiles transversales a escala 1:1.000, a lo largo de sus ejes, Plano GEN-01.

5.2.4. Alternativa Umirpa AU -1

5.2.4.1. Características Morfológicas

El sector seleccionado para el emplazamiento de esta alternativa corresponde a las cabeceras de la hoya hidrográfica de la quebrada Umirpa, provista de alimentación

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

pluvionival, que manifiesta sus caudales máximos durante el denominado "invierno boliviano" (meses de diciembre a febrero).

El sitio propuesto para el emplazamiento del muro de esta alternativa, conocido como "Angostura Umirpa", corresponde a un segmento donde la quebrada incorporara un conspicuo y sinuoso desarrollo que incluye un quiebre en aproximadamente 90°, enmarcado entre costados rocosos abarrancados; inmediatamente aguas debajo de este punto, comienza la quebrada Vítor, cuyas aguas, tras un recorrido de aproximadamente 92 a 95 km, vierten en el Océano Pacifico, en el sector de Caleta Vítor.

En el sector, la prolongada actividad erosiva de tipo fluvial de la quebrada ha modelado una sección transversal bastante simétrica, con ancho medio basal de 40 – 42 m, que en torno a su extremo S, alberga un actual cauce bastante bien establecido de 2,0 a 2,5 m de ancho; ambos flancos del valle participan de empinadas paredes regulares, sub verticales, que culminan a alturas medias de 61 – 63 m, respecto del fondo de la quebrada. Este, se observa rellenado por una secuencia granular fluvial a fluvioaluvial, integrada por sedimentos cuyas granulometrías se sitúan en el rango de gravas a gravas arenosas, correspondiente a una llanura de inundación genéticamente asociada a mecanismos depositacionales geológicamente vinculados a cauces antecesores, no muy distintos en términos de actividad hidráulica del actual. Solo puntualmente, las empinadas paredes rocosas que en el sector enmarcan los flancos de la quebrada, incorporan leves discontinuidades, concordantes con zonas de "despegue" o "arranque" de bloques rocosos, genéticamente vinculados al efecto combinado de desprendimientos y/o deslizamientos, cuyos respectivos planos de ruptura aparecen determinantemente controlados por sistemáticos patrones locales de fracturamiento.

5.2.4.2. Características Geológicas

Se asume que la mayor parte del relleno sedimentario del fondo de la quebrada Umirpa, derivaría de la erosión y redepositación de acumulaciones pleistocénicas glaciarias, originalmente radicadas en los flancos de empinadas laderas volcánicas, francamente altiplánicas.

El reciente reconocimiento directo del sector, permitió establecer que el sitio seleccionado para el emplazamiento de la AU - 1, está constituido por una potente secuencia petrográficamente muy regular o uniforme de materiales volcánicos (andesitas porfídicas) y volcanoclásticos (brechas y brechas tobáceas), con tonalidades grisáceas, levemente rosadas.

La revisión de documentos referenciales, incluyendo información geológica básica de la zona, permite englobar los señalados materiales en la formación Macusa de ***García*** et al (2005). Esencialmente, se trata de una entidad geológica que participa de gran parte de la configuración geológica de los terrenos de las cabeceras de la hoya hidrográfica de la quebrada Umirpa (ver Plano GEN-01).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

A nivel local, la cobertura discontinua del basamento rocoso está constituido por bloques rocoso angulosos, de diversa forma y tamaño, densos, petrográficamente muy homogéneos, inalterados, muy resistentes, con aspecto "fresco"; se trata de acopios relativamente estables de materiales fragmentarios originados por remociones en masa del tipo desprendimientos, gatillados por solicitaciones sísmicas y/o episodios pluviales de intensidad extrema, controladas por persistentes discontinuidades superficiales locales, del tipo fracturas.

Solo en torno a algunos sectores del pié de ambos flancos del fondo de la quebrada Umirpa, prevalecen discontinuos remanentes mal conservados de terrazas marginal bajas o "nuevas", ***Qfab*** en el Plano GEN-01, con franca apariencia fluvial, integradas por depósitos macizos de gravillas y arenas gruesas, grises, con moderado a bajo grado de compacidad; los bordes de estas terrazas se observan fuertemente erosionados, producto de recientes flujos torrenciales, gatillados por episodios pluviales de intensidad extrema (mes de febrero del presente año, en el marco del denominado "invierno boliviano"). Configuran elongados terrenos llanos, que rematan a alturas medias de 0.8 a 1.20 m sobre el nivel medio de aguas en el cauce de la quebrada Umirpa, claramente asociados a la acción de antecesores geológicamente recientes y no muy diferentes en cuanto al emplazamiento del actual cauce en el sector.

Mientras tanto, la totalidad de los materiales sedimentarios granulares de tipo fluvial a fluvioaluvial, que rellenan el fondo de la quebrada Umirpa, están integrados por una potente secuencia maciza a pobremente estratificada de gravas, gravas arenosas, gravillas bien redondeadas y arenas, con escasos finos cohesivos, ***Qfa***. Los depósitos, en general bastante bien seleccionados, incluyen elementos clásticos heterocomposicionales, (andesitas, dacitas, granitoides, brechas y tobas), se observan inalterados, muy resistentes.

El carácter suelto o inconsolidado de los depósitos, determina altos niveles de ripabilidad; de acuerdo a ello, su remoción sería posible mediante el simple empleo de equipo mecanizado (cargadores frontales, motoniveladoras, bulldozers).

5.2.4.3. Características Estructurales

En torno al sitio de emplazamiento del muro de la AU - 1, la revisión de ambas empinadas paredes rocosas, permitió establecer los materiales del basamento rocoso local, se presentan recorridos por un regular patrón ortogonal de fracturamiento que, estimativamente, habría ejercido un determinante control estructural respecto del desarrollo de la actual geometría del eje de la quebrada en el sector.

En la zona, las rocas de la formación Macusa que participan de ambas vertientes de la quebrada, se disponen de acuerdo a una aparente incipiente disposición subhorizontal.

El señalado patrón estructural está integrado por 3 sistemas dominantes a saber: 2 sistemas principales o muy bien desarrollados, cuyos elementos se disponen de acuerdo a

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

rumbos N – S, E - O, con actitud subvertical y uno secundario o de menor desarrollo, subhorizontal.

El sistema principal de fracturamiento subvertical está integrado por elementos dispuestos a intervalos regulares de 1,8 a 2,0 m, mientras que en el sistema secundario de fracturamiento subhorizontal, los elementos se disponen de acuerdo a intervalos regulares de 0,4 a 0,6 m.

Los sistemas dominantes incluyen elementos rectos, bastante continuas, con corridas observables en el rango de 10 a 12 m, a nivel superficial, las estructuras incorporan rellenos de 1,5 a 2,0 cm de remanentes mal conservados de materiales seudolaminares arcillizados, cuya gradual remoción (por actividad erosiva de aguas superficiales), les otorga el carácter de fracturas "abiertas". La inspección a nivel de detalle permite establecer el compromiso de elementos estructurales que, en la medida del avance en sentido lateral como en profundidad, tenderían gradual y persistentemente, al atenuamiento (continuidad espacial, densidad, largo o corrida, abertura y relleno).

5.2.4.4. Características y Comportamiento Geotécnico

En torno al sitio de emplazamiento de la AU - 1, a nivel superficial, el basamento rocoso integrado por materiales del tipo andesitas porfídicas, se observa regularmente homogéneo, denso, inalterado, muy resistente.

La presentación superficial de las rocas andesíticas en la zona de emplazamiento del eje del muro de la AU -1, permite asignarles, cualitativamente, los parámetros geomecánicos mostrados en el Cuadro 5.2.4.4-1.

CUADRO 5.2.4.4-1
PARÁMETROS GEOMECÁNICOS ZONA AU-1

Densidad (gr/cm^3)	Resistencia a la Compresión (kg/cm^2)	Cohesión (kg/cm^2)	Angulo de Fricción Interna (°)
2,2 – 3,5	2.100 – 3.200	280	45

Fuente: González de Vallejo (2003):

El favorable carácter geotécnico y baja a nula ripabilidad de los materiales que participan del basamento rocoso local, determinarán que la totalidad de las eventuales excavaciones involucradas en la preparación de las fundaciones del muro y obras anexas del Proyecto, deberán ser efectuadas recurriendo a procedimientos de tronaduras.

Las señaladas características geomecánicas del basamento rocoso, determinan que las excavaciones puedan incorporar taludes aceptablemente estables del tipo 1:4 a 1:5 (H:V).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el sector, el fondo de la quebrada presenta un potente relleno sedimentario de tipo granular, propio de un prolongado transporte de carácter fluvial, integrado por una secuencia maciza a pobremente estratificada, tipificada por mezclas de ripios, gravas, gravillas y arenas muy gruesas, con escasos finos cohesivos. Los elementos clásticos, heterocomposicionales (graníticos, volcánicos, volcanoclásticos) demuestran buen redondeamiento, densos, inalterados, muy resistentes.

Preliminarmente, se estima que las demandas de áridos para la preparación de hormigones involucrados en algunas obras del Proyecto, podrán ser satisfechas en términos de calidad y cantidad, mediante extracciones selectivas y tratamientos (cribado, eliminación de fracciones arcillosas y dosificaciones) a partir de depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales que, en torno al sitio de emplazamiento del muro de las AU -1, participan del relleno mayoritario del fondo de la quebrada Umirpa.

En el sitio seleccionado para el emplazamiento del muro de esta alternativa, la configuración morfológica de la sección transversal de la quebrada Umirpa, junto al compromiso de un macizo rocoso petrográficamente homogéneo, estable y geomecánicamente competente, (RQD estimativo de 75 a 85%), unido a una tipología de muro de hormigón compactado rodillado, RCC, bastante esbelto, favorecería la Incorporación de una estructura de desviación, mediante un túnel de corto desarrollo, dispuesto en torno al apoyo o estribo derecho, adecuado a su eventual posterior operación como desagüe controlado.

5.2.5. Alternativa Umirpa AU - 2

5.2.5.1. Características Morfológicas

El sitio para el emplazamiento del muro de esta alternativa se encuentra ubicado a aproximadamente 3,5 km aguas arriba de la AU- 1.

En este sector, el eje del valle de la quebrada de Umirpa, de acuerdo a una trayectoria general rectilínea, con un flujo cercanamente NE – SO, desarrolla una leve discontinuidad o "quiebre"; en ella, el cauce de la quebrada, ha tendido a establecerse en épocas recientes, adosado al pié de la vertiente SE de la quebrada Umirpa.

La llanura de inundación que alberga el señalado cauce, posee un ancho medio de 102 a 104 m.

En torno al sitio de emplazamiento de esta alternativa el valle desarrolla una sección transversal bastante asimétrica. De acuerdo a ello, los terrenos comprometidos en el apoyo derecho del muro comprometen una serie de llamativos rasgos morfológicos, integrado por llamativas paredes rocosas, separadas o "intercaladas" con zonas depresionarias que le otorgan a esta vertiente una característica discontinuidad morfológica; en apariencia los señalados rasgos morfológicos admiten ser atribuidos a un efectivo control

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

estructural, vinculado a la presencia de fracturas verticales de gran corrida, dispuestas de acuerdo a un rumbo dominante N 45 a 50°O.

Por su parte, las zonas depresionarias, responderían a estructuras de "arranque" y/o depositación de voluminosas masas de bloques rocosos, gravitacionalmente desplazados por sucesivos desprendimientos, cuyas superficies de rupturas, concordarían con planos principales de fracturamiento local.

Mientras tanto, el segmento de la vertiente SE o apoyo izquierdo del muro de esta alternativa, compromete una muy irregular configuración morfológica integrada por afloramientos de basamento rocosos (salientes, cornisas o paredes), discontinuamente enmantadas con espesores muy variables de bloques rocosos sueltos, angulosos de diversas formas y tamaños, producto de desprendimientos ocurridos en el pasado geológico reciente.

En torno a ambos apoyos o estribos del muro de esta alternativa, los señalados rasgos morfológicos culminan a alturas medias de 30 a 35 m, sobre la llanura de inundación.

Tanto aguas arriba como abajo del sitio de emplazamiento del eje de la AU – 2 prevalecen mal conservados remanentes de terrazas marginales bajas, fluviales a fluvioaluviales, ***Qfab***, integrados secuencias bastante bien estratificadas de bancos alternantes integrados por materiales arenosos de colores grises oscuros y limoarcillosos, negruzcos; en los señalados sectores, estos materiales sedimentarios, muy probablemente asociados a la acción de antecesores geológicamente recientes y no muy diferentes en cuanto a emplazamiento del actual cauce de la quebrada Umirpa. La granulometría fina, junto al alto contenido de materia orgánica (restos vegetales), en los señalados depósitos marginales, permitiría atribuirlos a mecanismos de sedimentación en un ambiente fluvio - lacustre, esto es, con episodios de circulación restringida. Estos remanentes de terrazas marginales bajas, han sido colonizadas con numerosas especies freatófitas; condición que les otorga el carácter de verdaderos "*bofedales*", aptos para el pastoreo de animales domésticos y/o silvestres.

Los referidos materiales sobreyacen a una potente secuencia maciza a pobremente estratificada de depósitos granulares mal seleccionados del tipo ripios gravas y arenas gruesas, con escasos finos cohesivos, ***Qfa***. Los elementos clásticos, muy bien redondeados, son heterocomposicionales, inalterados, muy resistentes.

Importa consignar que, en torno al sitio de emplazamiento del muro de la AU- 2, tanto el actual cauce de la quebrada Umirpa, como su entorno inmediato (aguas arriba y abajo), se observa discontinuamente enmantado por depósitos granulares (ripios y gravas) y bolones con moderado grado de redondeamiento, producto de episodios aluviales de reciente ocurrencia ("invierno boliviano" del mes de marzo del presente año), ***Qca***.

Importa consignar que, comparativamente, desde el punto de vista granulométrico, los materiales que participan del entorno directo del cauce de la quebrada, en este sector,

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

incorporan tamaños bastante mayores y con menor grado de redondeamiento, respecto de los materiales sedimentarios que participan del entorno inmediato al sitio AU -1. Esta singularidad supone el compromiso de flujos con mayor torrencialidad y menor distancia de transporte desde sus respectivas primitivas fuentes de suministro, radicadas en empinadas laderas volcánicas, francamente altiplánicas.

Interesa consignar que, en el sector, durante el último "invierno boliviano", la intensidad de los torrentes habrían generado severos procesos de erosión - depositación a lo largo de importantes segmentos del cauce de la quebrada Umirpa; producto de ello, numerosos puntos de cruce de la Ruta A – 319, sobre su cauce, (verdaderos *vados*), debieron ser objeto de rehabilitaciones, recurriendo al empleo de equipo mecanizado

5.2.5.2. Características Geológicas

El reciente reconocimiento directo del terreno, permitió establecer que el basamento rocoso que, en el sector, participa de la configuración de ambas vertientes del valle de Umirpa, está integrado por una compleja secuencia de brechas a brechas aglomeraditas, incluidas en la formación Macusa, (***García*** et al (2004), ***Mmsm*** (ver Plano GEN-01).

Esencialmente, corresponde a una sucesión volcánica y sedimentaria continental, plegada y fallada.

García et al (2204), consignan que esta unidad está constituida por hasta 500 ms de espesor de tobas, en parte, ignimbríticas y areniscas, con intercalaciones de conglomerados, brechas sedimentarias, limolitas, arcillolitas, calizas y lavas.

Las rocas se observan regularmente estratificadas, en capas continuas de acuerdo a un rumbo dominante N 45° O e inclinación general 12 a 15° hacia el NE. Los materiales tobáceos son de color gris claro, pardo y verdoso, constituidos por vidrio, cristales, pómez y escasos líticos volcánicos. Los cristales son de cuarzo, plagioclasa, sanidina y biotita.

Las fracciones sedimentarias de la formación corresponden a areniscas, conglomerados de grano medio a fino, limonitas, arcillositas y calizas, semiconsolidadas, con colores gris, pardo, amarillo, blanco, violeta y verde.

En torno al sitio de emplazamiento del muro de esta alternativa, en la formación Macusa se registra un marcado dominio de materiales del tipo brechas a brechas tobáceas.

5.2.5.3. Características Estructurales

En el sector, las rocas estratificadas de la formación Macusa se disponen de acuerdo a un rumbo general N 45 a 48°O e inclinación de 12 a 15°NE.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Tal como ocurre en torno al sitio de emplazamiento de la AU -1, en este lugar, a las rocas volcánicas a volcanoclásticas y sedimentarias de la formación Macusa, Mmsm, se les observan recorridas o grietas por los 3 sistemas preferenciales de fracturamiento (ejes X, Y, Z), que configuran un característico patrón de bloques ortogonales, cercanamente equidimensionales.

5.2.5.4. Características y Comportamiento Geotécnico

A nivel superficial, las rocas brechosas a brechas tobáceas que en el sector participan de gran parte de los terrenos comprometidos en el emplazamiento del muro de esta alternativa, se observan bastante densas, con moderado grado de meteorización y resistencia a la compresión simple.

De acuerdo a ***González de Vallejos*** (2003), a los señalados materiales rocosos es posible asignarles los parámetros geotécnicos mostrados en el Cuadro 5.2.5.4-1.

CUADRO 5.2.5.4-1
PARÁMETROS GEOMECÁNICOS ZONA AU-2

Densidad (gr/cm^3)	Resistencia a la Compresión (kg/cm^2)	Cohesión (kg/cm^2)	Angulo de Fricción Interna (°)
1,9 – 2,3	360 - 460	7	15 - 25

Fuente: González de Vallejo (2003):

En torno a ambos apoyos de muro de esta alternativa, la presencia de rocas fracturadas, (RQD estimado en 60 a 65%), puntualmente enmantadas por bloques sueltos, desprendidos desde empinadas paredes rocosas locales y/o discontinuamente enmantadas por depósitos de escombreras de laderas de cerro, impondría que las faenas de preparación de los respectivos apoyos o estribos, incluyan una prolija preparación previa; conforme a ello, se deberá considerar la remoción, mediante faenas de escarificado manual o mecanizada, de los señalados materiales sueltos, menos resistentes y permeables, destinados a exponer el basamento rocoso, geomecánicamente competente y estable.

En torno al sitio de emplazamiento del muro de esta alternativa, el marcado carácter asimétrico de la sección transversal del valle de la quebrada Umirpa, unido a la tipología seleccionada para su diseño, (sustentada en una estructura homogénea a base de gravas compactadas) exigiría que, en función de factores de eficiencia y seguridad operacional, las obras del vertedero se dispongan con total independencia al cuerpo de presa. De acuerdo a ello, en términos comparativos, la configuración morfológica que participa del entorno inmediato al apoyo o estribo izquierdo del muro, resulta más atractivo, respecto del apoyo opuesto.

Mientras tanto, durante las faenas involucradas en la preparación y tratamiento de las fundaciones o cimientos del muro del Proyecto, se estima que el actual bien desarrollado

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

y establecido cauce de la quebrada Umirpa adosado a su margen izquierdo, facilitaría la efectiva materialización de tales obras, mediante simples progresivos desplazamientos controlados hacia el apoyo derecho.

En el sector, las fundaciones del muro del embalse comprometerán, exclusivamente, sedimentos granulares del tipo ripios, gravas y arenas, con escasos finos intersticiales; en ausencia de registros estratigráficos a partir de sondajes, se estima que, globalmente, las permeabilidades de los materiales que participan del relleno del fondo de la quebrada se situarían en el rango de moderadas a altas.

5.2.6. Alternativa Umirpa 3, AU- 3

5.2.6.1. Características Morfológicas

El sitio para el emplazamiento de esta alternativa se ubica a aproximadamente 3,8 km aguas arriba del sitio anterior (ver Plano GEN-01).

En este sector el valle de la quebrada Umirpa, de acuerdo a una trayectoria cercanamente rectilínea con flujo NE – SO, el actual cauce se desarrolla adosado al margen SE de una llanura de inundación provista de un ancho basal de aproximadamente 105 m.

En torno al sitio de emplazamiento del muro de esta alternativa, el valle presenta una sección transversal bastante uniforme y simétrica, conformada por basamento rocoso que configura variados rasgos morfológicos paredes, zonas (depresionarias, salientes y cornisas) discontinuamente enmantadas con espesores muy variables por acumulaciones de bloques rocosos de diversa forma y tamaño, genéticamente vinculados a remociones gravitacionales (actualmente estabilizadas) del tipo desprendimientos o deslizamientos, cuyos planos de ruptura muestran un importante control estructural, (patrones locales dominantes de fracturamiento, ***Qe***, en el Plano GEN-01.

En términos comparativos, respecto de las dos alternativas precedentemente descritas, la mayor proximidad de este sitio a las empinadas y activas cabeceras de la hoya hidrográfica de la quebrada Umirpa, concordante con un ambiente francamente altiplánico, determina que los mayores caudales, propios de recurrentes flujos torrenciales inducidos por el denominado "invierno boliviano" (meses de enero a marzo) se expresen en el desarrollo de voluminosos flujos

5.2.6.2. Características Geológicas

En torno al segmento del valle de la quebrada Umirpa comprometido en el emplazamiento de la AU – 3, ambas vertientes están dominantemente integradas por una potente secuencia continental, bien a regularmente estratificada, en capas continuas o levemente lenticulares de espesor decamétrico del tipo conglomerádico, incluida en la formación Macusa, ***Mmsm***, (***García*** et al, 2004), en el Plano GEN-01.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Los conglomerados, en parte, brechosos, son predominantemente clasto - transportados y mal a moderadamente seleccionados, los elementos clásticos, muy bien redondeados, con tamaños medios de 15 a 18 cm, están formados mayoritariamente por lavas andesíticas y dacíticas, junto a tobas riolíticas, varicolores.

En torno al sitio de emplazamiento del muro de esta alternativa, adosada a ambos márgenes de la llanura de inundación se registra la presencia de elongados remanentes mal conservados de pequeñas terrazas fluviales a fluvioaluviales, ***Qfa.*** Sus bordes se observan fuertemente erosionados, producto de recientes flujos torrenciales asociados a episodios extremos del "invierno boliviano". En todos los casos, la parte alta de estas estructuras culminan a alturas de 1,0 a 1,2 m sobre el actual espejo de aguas en el cauce establecido de la quebrada.

Los materiales que participan de las señaladas terrazas marginales, están integradas por secuencias finamente estratificadas tipificadas por arenas medias y finas, limolitas y limonitas arcillosas, con abundante materia orgánica y variadas tonalidades (grises, blanquecinas y negruzcas), genéticamente vinculadas a actividad depositacional de cauces antecesores al actual, ***Qfab***, en el Plano GEN-01. Esencialmente se trata de materiales inconsolidados, sueltos, cuya superficie aparece colonizada por especies freatatófitas que les confieren a estas estructuras el carácter de verdaderos "*bofedales*".

Por su parte, la amplia llanura aluvial que alberga el actual cauce de la quebrada Umirpa, es parte integrante del potente relleno sedimentario de su fondo. Configuran una secuencia maciza a pobremente estratificada, integrada por gravas, gravillas y arenas muy gruesas, con abundantes bloques y bolones y ausencia de finos cohesivos; las fracciones más gruesas, responderían a acarreos torrenciales de tipo aluvional, genéticamente asociados a recientes episodios pluviales del "invierno boliviano", ***Qfa,*** en el Plano GEN-01. Los elementos clásticos, bastante bien redondeados, son heterocomposicionales, (preferentemente intrusivos, volcánicos y volcanoclásticos) inalterados, muy resistentes; el conjunto presenta netas características fluviales a fluvioaluviales, cuya procedencia primaria provendría de los materiales de origen presumiblemente glacifluvial, radicados en ambientes francamente altiplánicos.

A nivel superficial los sedimentos descritos se aprecian mal trabados, muy sueltos, bastante permeables

5.2.6.3. Características Estructurales

A lo largo del segmento de la sección basal de la quebrada Umirpa, comprometido en el emplazamiento de ambos estribos del muro de la AU - 3, las rocas de la formación Macusa, ***Mmsm,*** en el Plano GEN-01, se disponen de acuerdo a un rumbo general N 40 a 45°O e inclinación regular de 15 a 18°al NE.

Los materiales de la unidad, con predominio de niveles conglomerádicos, se observan recorridos por 2 sistemas principales de fracturamiento: N 45 a 48°O y N 45 a

50°NE; se trata de elementos rectos, verticales a subverticales, con largos o corridas observables de 18 a 25 m; a nivel superficial, las fracturas demuestran escaso relleno arcilloso, *salbanda*, genéticamente vinculadas a mecanismos de desplazamiento (fallamiento).

5.2.6.4. Características y Comportamiento Geotécnico

En torno al sitio de emplazamiento del muro de esta alternativa, el basamento rocoso conglomerádico, presenta un moderado grado de fracturamiento y alteración superficial; en zonas provistas de fuerte empinamiento local, este carácter ejerce un decisivo control respecto del activo desarrollo de desprendimientos de bloques rocosos.

Para el basamento rocoso conglomerádico que, dominantemente, participaría de ambos apoyos o estribos del muro de esta alternativa, se estima un RQD de 45 a 55%; este carácter supondría la necesidad de materializar una efectiva preparación previa de las fundaciones de apoyo, destinadas a retirar la totalidad de los materiales granulares sueltos e inestables de tipo coluvial o escombreras de laderas de cerro (desde derrames de bloques rocosos hasta fracciones arenosas gruesas), muy permeables, anisotrópicos, con moderados a bajos niveles de competencia geomecánica que, con espesores muy variables enmantan el basamento rocoso local; en la práctica involucrarían complejas faenas de escarificado o "*desquinche*", manual o mecanizado, destinadas a exponer o desarrollar efectivas superficies de apoyo o contacto, sin excluir la alternativa de completarlas con tratamientos de sello o impermeabilización mediante inyecciones con lechadas de cemento.

5.2.7. Riesgos Geológicos

Tanto en los terrenos directamente involucrados en los emplazamientos de las 3 alternativas de muros objeto del presente análisis, como en sus entornos inmediatos, incluyendo la totalidad de sus respectivas cubetas de inundación, la revisión directa de los terrenos, complementada con la interpretación de imágenes satelitales e información geológica referencial, permitieron establecer la ausencia de claros rasgos estructurales y morfológicos, (grietas, deformaciones, estrías, coronamientos, escarpes y lóbulos frontales) genéticamente atribuibles a procesos de remociones en masa (reptaciones lentas, solifluxión, deslizamientos), ocurridos en el pasado geológico, en situación de ser activados durante la vida operacional del Proyecto.

Conocido es el hecho de que la permanente oscilación operacional en los niveles de saturación de los terrenos objeto de inundación, suelen desarrollar grandes variaciones en sus resistencias e inestabilidades, en condiciones de gatillar procesos de remociones en masa.

Por otro lado, importa consignar que, en torno a los terrenos directamente comprometidos en el emplazamiento de los 3 muros objeto de análisis, el complejo marco estructural regional proporcionado por ***García*** et al (2004), no consigna la presencia de ningún rasgo lineal, atribuido a la presencia de fallas de rango o alcance regional, por tanto,

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

en situación de desarrollar mecanismos de reactivación en el próximo futuro (vida útil del proyecto de riego objeto de estudio).

5.2.8. Materiales de Empréstito

Preliminarmente, se estima que gran parte de los volúmenes de materiales granulares, (ripios, gravas y arenas "*limpias*" muy bien "*lavadas*") destinados a satisfacer las futuras demandas de empréstitos para la construcción de rellenos, terraplenes y muros de embalses y/o áridos para la preparación de hormigones, podrían provenir de la extracción y tratamiento (selección granulométrica y dosificación) de depósitos fluviales a fluvioaluviales, que rellenan el fondo de la quebrada Umirpa, ***Qfa***, en el Plano GEN-01. Se asume que los materiales granulares clásticos primarios de las terrazas fluviales a fluvioaluviales locales, provendrían de las cabeceras de la hoya hidrográfica de la quebrada Umirpa, con predominio de rocas volcánicas. Las importantes distancias entre los puntos de origen o liberación inicial de los materiales y los sitios de depositación en sus correspondientes segmentos de amplios valles bajos, junto con determinar el desarrollo de elementos clásticos muy bien redondeados, densos, resistentes, favorecerían la clasificación y selección de los depósitos. Concordantes con ello, los depósitos suelen incorporar elevadas concentraciones de fracciones u elementos gruesos, bolones, muy bien redondeados, altamente desgastados y con muy buena clasificación y selección. Mayoritariamente, se trata de los depósitos macizos, esto es, carentes de estratificación que, árealmente, presentan granulometrías bastante uniformes, libres de intercalaciones lenticulares finos cohesivas.

Por su origen y edad relativamente reciente, presentan bajo grado de compactación natural y excelente calidad física y química; por ello, suelen satisfacer a cabalidad las especificaciones más rigurosas para variados usos en proyectos ingenieriles.

En el territorio objeto del estudio, los depósitos granulares que configuran extensas terrazas marginales bajas de tipo fluvial a fluvioaluviales, con atractivo potencial para extraer materiales de empréstito, se observan enmantadas por una delgada y poco evolucionada cobertura de suelos limosos a limo arenosos con alto contenido de materias orgánicas y raíces, cuyos espesores fluctúan en el rango de 0,5 a 1,0 m.

La baja compactación de los materiales (alta ripabilidad) objeto de explotación, junto con facilitar las faenas de extracción mediante el simple empleo de equipo mecanizado, cargadores frontales, favorece su posterior manipulación y tratamiento: extracción selectiva, carguío, transporte, tamizado u harnereo y dosificación

Desde el punto de vista ambiental, las terrazas fluviales a fluvioaluviales regionales, constituyen sistemas relativamente lábiles (frágiles), cuya intervención por faenas de extracción para variados destinos, deben considerar la oportuna realización de estudios previos, destinados a identificar y cuantificar los impactos al medio físico o ecosistemas.

Referido a los áridos para la preparación de hormigones, se estima que podrían ser obtenidos a partir de:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Trituración o chancado de las fracciones granulares, "*sobretamaño*", (> 4 a 6 pulgadas), tanto provenientes de yacimientos representados por depósitos fluviales a fluvioaluviales de ripios, gravas y arenas gruesas, sueltas o pobremente litificadas, extraídas desde el actual fondo de la quebrada Umirpa,

- Trituración o chancado de materiales petrográficamente homogéneos, inalterados, densos y muy resistentes, correspondientes a rocas volcánicas (lavas andesíticas y dacíticas) y volcanoclásticas (brechas, aglomerados y brechas) incluidas en la formación Macusa, Mmsm, en Plano GEN - 01, que en torno al sitio de emplazamiento de la alternativa seleccionada, participan de los empinados flancos de la llanura de inundación de la quebrada Umirpa.

5.2.9. Análisis y Selección de Alternativas Para el Emplazamiento del Muro del Proyecto

En lo que sigue, conforme a los alcances y objetivos del Proyecto de Embalse de Riego en la Quebrada Umirpa, se proporciona un análisis y selección de un sitio de emplazamiento final del muro y obras anexas; se sustenta, exclusivamente, en consideraciones y aspectos propios de la competencia profesional en temas de geomorfología, tectónica, geología, geotecnia, hidrogeología y riesgos geológicos.

Conforme a ello, en términos comparativos respecto de los restantes 2 sitios alternativos para el emplazamiento del muro del Proyecto, la alternativa denominada Alternativa Umirpa 1, AU -1, presentaría las mejores condiciones y características para concentrar en ella, la próxima etapa del Proyecto conducentes a la definición, a nivel de prefactibilidad técnica, de la tipología y características de la presa, preliminarmente, sustentada en una estructura del hormigón rodillado, RCC.

A lo largo del eje propuesto para la alternativa AU-1, la configuración geomorfológica del valle de la quebrada Umirpa presenta una favorable y conveniente sección transversal, perfectamente enmarcada entre empinadas paredes estables de basamento rocoso expuesto, de origen volcánico, geomecánicamente competente, con RQD estimado de 75 a 85%; incluyen materiales densos, inalterados, con escaso fracturamiento, por tanto poco permeables, muy resistentes, con baja deformabilidad. Ello supone atractivas relaciones volumen muro / volumen embalse. Esencialmente, se trata de rocas cuyas propiedades geotécnicas, garantizarían el desarrollo de efectivas y seguras estructuras de apoyo (estribos) para el muro del embalse.

En el sector, el fondo de la quebrada Umirpa se presenta, de seguro, rellena con un espesor desconocido de sedimentos de tipo fluvial a fluvioaluvial; incluirían una secuencia maciza a pobremente estratificada de materiales granulares inconsolidados, con predominio de gravas, gravillas y arenas muy gruesas, con escasos finos cohesivos; los elementos clásticos corresponderían a fracciones heterocomposicionales: graníticos, volcánicos, volcanoclásticos y sedimentarios, muy bien redondeados, inalterados, muy resistentes.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Las características granulométricas, continuidad en sentido vertical y horizontal, relaciones de contacto con el basamento rocoso y permeabilidad del relleno sedimentario del fondo de la quebrada Umirpa, estarán sujetos a los resultados de la futura campaña de prospecciones mediante la ejecución de 3 sondajes con profundidades medias de 25 m.

A partir de adopción de una solución de muro del tipo hormigón rodillado, RCC, la información suministrada por los registros estratigráficos de los señalados sondajes, complementados con ensayes de permeabilidad (Lefranc), permitirán definir y delimitar zonificaciones geotécnicas de los suelos y los necesarios tratamientos finales de impermeabilización para los cimientos del muro.

Es posible, pero poco probable, que durante las excavaciones preparatorias de las fundaciones del muro, se detecte la presencia de sedimentos finos, (intercalaciones lenticulares), compresibles, en situación de limitar su carácter y comportamiento geotécnico global.

Por otro lado, la selección de una presa de hormigón rodillado permitiría la incorporación del vertedero, (libre o de compuertas) en su propio cuerpo.

La necesidad de incluir, una estructura destinada a la segura evacuación de las aguas en crecida de la quebrada, durante la fase constructiva del muro, supone un túnel de corto desarrollo, excavado en basamento rocoso geomecánicamente competente, (por tanto con bajas demandas de fortificación y revestimiento), que participaría de su apoyo derecho; ello, sin desatender la alternativa de concentrar las faenas constructivas de la sección basal del muro, durante el período de estiaje de la quebrada, recurriendo a sucesivos encauzamientos mediante la instalación de pequeñas ataguías temporales.

Los materiales granulares y áridos destinados a satisfacer las demandas constructivas del Proyecto en el sitio correspondiente a la AU-1, podrían provenir de extracciones, tratamientos y dosificaciones de depósitos granulares (ripios, gravas y arenas sueltas, "*limpias*" y "*bien lavadas*") que en torno al eje de la AU -1, participan del relleno del fondo de la quebrada Umirpa.

La zona de inundación del embalse, no ofrecería condiciones morfogeológicas que permitan suponer la posibilidad de generar problemas durante su vida operacional, especialmente de aquellos relacionados con el desarrollo de procesos de remoción en masa: desprendimientos, deslizamientos masivos.

Las incógnitas e incertidumbres geológicas y geotécnicas que aún subsisten respecto de algunos problemas específicos de calidades y comportamientos geotécnicos involucrando suelos o rocas, comprometidas en los emplazamientos de algunas obras de la alternativa AU - 1 seleccionada, serán resueltas en la siguiente Etapa 5 del PCERU.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5.2.10. Referencias

- ***García, G., M; Gardeweg, P. M; Clavero, R., J.*** y **Herail, *G.*** 2004. Hoja Arica. Región de Tarapacá. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica; N°84; 150 p. Santiago.

- ***González de Vallejo, L., I.*** 2003. Ingeniería geológica. Editorial Prentice Hall; 715 p; Madrid.

- ***Mortimer, C.*** 1980. Drainage evolution in the Atacama Desert of Northernmost Chile. Revista Geológica de Chile. N°11; p. 3 – 28. Santiago.

- ***Niemeyer, H.*** 1964. Tranque Umirpa; 3p. (Informe inédito).

- **Salas O., R.** 1967. (¿?) Breve informe geológico preliminar de la zona "Cuevas de Umirpa" posible lugar construcción de un tranque para quebrada Vítor. Instituto de Investigaciones Geológicas; 6 p. Arica. (Informe inédito).

5.3. 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

Los materiales más comunes para construir presas de riego en Chile han sido las de tierra, son del tipo mixta con núcleo impermeable, u homogénea, y las de enrocado con pantalla de hormigón por aguas arriba (Presas CFRD, Concrete Face Rock Fill Dam). No obstante, el avance en las técnicas constructivas ha permitido que en los últimos años el tipo de presa predilecto corresponda a las presas de gravas compactadas, presas CFGD, Concrete Face Gravel Dam. Estas presas son bastante más económicas y rápidas de construir. La idea es aprovechar los materiales fluviales existentes en los ríos chilenos, extrayéndolos de las inmediaciones al sector de la presa. O sea, donde existe material fluvial en cantidad, se escoge este tipo de presa. Debe verificarse previamente algunas condiciones, como por ejemplo quedar fundadas en roca u otro material resistente e impermeable, como así también el material para el cuerpo de la presa no debe sobrepasar un porcentaje de finos, lo que no siempre se cumple, pero cuando ello ocurre, es necesario efectuar una extracción de los finos a una parte y mezclar los gruesos con la otra parte, de manera de reducir el porcentaje de finos.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Es así como en los últimos años, todas las presas mayores de riego se han diseñado y construido como CFGD. Se puede citar los casos de Santa Juana, Puclaro, Corrales, El Bato, Ancoa, etc.

5.3.1. Sitio 1

El sitio de presa 1 es ideal para la construcción de una presa de hormigón rodillado, si se confirma que en el fondo de la quebrada existe roca a poca profundidad. Asimismo en una buena angostura para desarrollar una presa del tipo CFRD ó CFGD considerando que la pared moldeada sería de poca longitud y que el plinto se apoyaría en roca a la vista. Los materiales para la construcción de estas alternativas de presa se pueden obtener de la caja del río, en una zona de mayor ancho ubicada a unos 800 m aguas arriba del eje de presa, en donde se estima preliminarmente que existe material en cantidad suficiente. Este material también presenta características para ser utilizado como agregado para hormigones con la correspondiente selección de tamaños. Estos yacimientos deben ser estudiados considerando su doble objetivo mencionado.

Para la alternativa de presa CFRD ó CFGD, parece más atractivo ubicar el túnel de desviación y el vertedero de crecidas en la ladera derecha, ya que por la forma que tiene la angostura resultaría de menor longitud. Para una presa de hormigón rodillado (RCC) sería conveniente analizar la posibilidad de una desviación del río directamente por el costado de la angostura (sin necesidad de túnel) y, de todas maneras, el vertedero de crecidas se ubicaría sobre la presa misma.

No se observan quebradas laterales en el sitio mismo de presa ni ningún otro elemento que pudiera colocar en riesgo la integridad de la presa. Asimismo, en las laderas del valle aguas arriba del sitio de presa no se observó deslizamientos antiguos y su aspecto es muy similar al que se observa en el eje mismo de la presa, es decir, corresponde principalmente a roca.

5.3.2. Sitio 2

El sitio de presa 2 se estima que es apto para la construcción de una presa CFRD ó CFGD, pero en este caso habrá que remover mayor volumen de suelo para el apoyo del plinto sobre la roca y la pared moldeada de impermeabilización del suelo de fundación será de mayor longitud y mayor profundidad que en el sitio 1. Preliminarmente el sitio 2 no es apto para la construcción de una presa de hormigón rodillado, debido a los grandes volúmenes de suelo que se debe remover para alcanzar la roca de apoyo.. Se descarta una presa de tierra, por la falta de material en las cercanías de los sitios.

Tanto el túnel de desviación como el vertedero de crecidas parece más conveniente ubicarlos en la ladera izquierda, debido a la menor longitud que se lograría, suponiendo que la roca de este costado no presenta ningún inconveniente, lo que debe ser verificado con exploración y con el informe geológico.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El material para conformar el muro de una presa CFRD ó CFGD se podrán obtener del lecho mismo del río , tanto aguas abajo como aguas arriba del sitio de presa, estimándose una distancia máxima de transporte del orden de 2 km. Asimismo se podrá obtener áridos para hormigones desde el lecho del río , previa selección de tamaños. Las partículas de gravas del lecho del río se observan sanas y duras, provenientes de roca ígnea.

5.3.3. Sitio 3

El sitio de presa 3 es el que presenta mayores inconvenientes para el emplazamiento de una presa CFRD ó CFGD. Lo anterior debido al fracturamiento de la roca de las laderas, presencia de grandes trozos de roca suelta que han caído hacia el lecho del río, presencia de estrato de suelo fino entre las gravas fluviales, mayor ancho de la caja del río y, seguramente, mayor profundidad de la roca en el lecho del río , que incide en el costo de la pared moldeada de impermeabilización del suelo de fundación. Asimismo, para la construcción del plinto se deberá remover mayor volumen de cubierta de suelo y de roca suelta, que en las otras dos alternativas. A pesar de lo anterior, al igual que el sitio 2, no es apto para la construcción de una presa de hormigón rodillado, debido a los grandes volúmenes de suelo que se debe remover para alcanzar la roca de apoyo.

Análogamente que en los sitios 1 y 2, existe material para la construcción de la presa y para hormigones, en el lecho del río .

5.3.4. Elección del Tipo de Presa

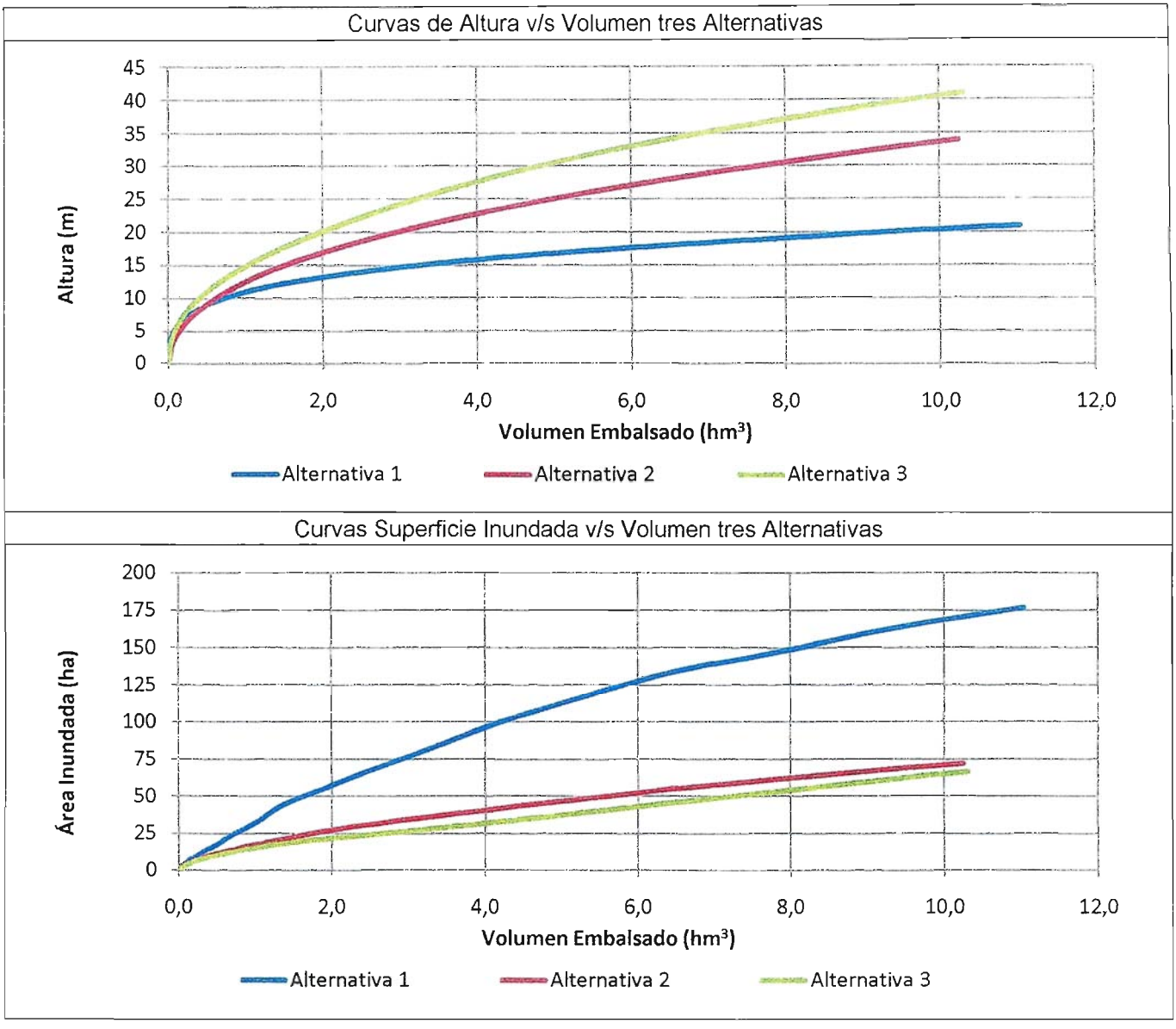
Dadas las características y antecedentes indicados anteriormente se analizará para la elección de la mejor alternativa de emplazamiento una presa tipo RCC para el sitio 1 y una presa tipo CFGD en los sitios 2 y 3.

5.4. DEFINICIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS

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 5.4-1 se presentan las curvas correspondientes a las tres alternativas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.4-1
CURVAS CARACTERÍSTICAS



Fuente: Elaboración propia

5.4.1. Evaporación

5.4.1.1. Volumen de Evaporación

A partir de las curvas definidas en el Acápite 5.4 y a las características del sector del proyecto, se incluyó en el modelo de operación preliminar, las pérdidas de volumen embalsado por efecto de la evaporación. Este análisis se realizó para cada una de las alternativas de sitio de embalse que se estudiaron en este capítulo.

5.4.1.2. Técnicas para la Reducción de la Evaporación

Dado que la relación área inundada / volumen embalsado de la alternativa 1 está muy por encima de las otras alternativas y que dicha relación incide directamente en el volumen de agua evaporada, se han recopilado antecedentes bibliográficos de diferentes técnicas para reducir la evaporación.

Las técnicas investigadas con este fin son numerosas: aplicación de aceites o sustancias flotantes sintéticas poco volátiles, sistemas de mezcla para romper la estratificación térmica, aplicación de colorantes que modifiquen el albedo del agua, es decir, la reflexión de la luz solar, empleo de árboles como cortavientos, etc., pero generalmente poco adecuadas para su empleo en embalses como consecuencia de su baja eficiencia o incompatibilidad con el uso del agua para riego. Las técnicas más prometedoras consisten en la implantación de coberturas sobre los embalses, ya sean flotantes o de sombreo.

Entre los productos químicos implementados para la reducción de la evaporación se encuentra el WaterSavr el cual se ha usado para reducir la evaporación en espejos de agua. De acuerdo a su ficha técnica su eficacia alcanzaría hasta un 50%, pero este valor está sujeto a las dimensiones y a la presencia de vientos donde es aplicado. En efecto, en la publicación "Estudio de la Reducción de la Evaporación Mediante un Método Químico, S. Miranda y Ma. T. Leal, 2003" realizado por IMTA[1], se probó dicho producto en una represa de 4,38 ha en la cercanía de Nuevo Laredo, Tam, la cual está expuesta a fuertes vientos. Para las mediciones de la evaporación se utilizaron dos métodos diferentes: el de charolas de evaporación tipo "A" y la medición directa de evaporación por correlación turbulenta (CT).Los resultados indicaron que la reducción por el método de las charolas alcanzaba un 9,4% mientras que por el método CT la reducción apenas alcanzaba el 4,1%. Finalmente no se recomienda el uso de este producto bajo condiciones de magnitud de viento promedio igual o mayor a 12,3 km/h.

Por otra parte, a pesar de los buenos resultados de las coberturas sobre embalse, en este caso su aplicación se hace inviable debido a las fluctuaciones del volumen embalsado y la magnitud del área de superficie.

A pesar de que las experiencias con productos químicos para reducir la evaporación en embalses con amplios espejos de agua y fuertes viento no ha tenido resultados satisfactorios, parece ser la única solución viable. Por esta razón, en el Acápite 5.11.2.7, se presenta una estimación de los beneficios y costos que se obtendrían al implementar éste tipo de método.

[1] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

5.5. ESTUDIO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, CRECIDAS Y SEDIMENTACIÓN

5.5.1. Aguas Superficiales

Se estimaron caudales medios mensuales en los puntos donde se ubican las alternativas de embalse, definiendo la disponibilidad de los recursos hídricos para cada uno de ellos. Además, se realizó el estudio de crecidas con lo que se obtuvieron los caudales asociados a los periodos de retorno de 10, 20, 100, 500, 1.000 y 10.000 años para el diseño de las obras de desvío y las obras de evacuación en cada una de las alternativas. Por último, se determinó el volumen muerto. Todos los cálculos se incluyen en el Capítulo 4, acápite 4.3 y se resumen en el Cuadro 5.5.1-1.

Los caudales medios obtenidos fueron de 532 L/s, 331 L/s y 308 L/s para los sitios de embalse 1, 2 y 3 respectivamente. Estos son mayores a los indicados por el informe técnico "Minuta Técnica Nº003ª/2005" realizada por la DGA Regional de Tarapacá, donde se determina un valor de 149 L/s en la cuenca de Vítor, y que se asemeja al registrado en la estación río Codpa en Cala Cala. La diferencia radica en que los caudales medios obtenidos en el presente estudio hidrológico se incluyen las grandes crecidas producto del Invierno Boliviano, y que dadas las capacidades de medición de la estación en Cala Cala, no son posibles de registrar.

CUADRO 5.5.1-1
CAPACIDADES DE LOS EMBALSES

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Disponibilidad Hídrica	Q (m^3/s)		
	0,53	0,33	0,31
T (año)	Caudal Máximo Q (m^3/s)		
5	9,4	5,9	
10	24,4	15,3	
20	51,9	32,4	
50	69,9	43,6	
100	89,0	55,5	
200	114,1	71,2	
500	148,0	92,0	
1000	173,0	107,9	
10000	270,1	168,5	

Volumen Muerto	V (hm^3)		
	1,52	0,66	0,54

Fuente: Elaboración propia

Se consideró el mismo caudal en el estudio de crecidas para la alternativa 2 y 3 porque su diferencia en área aportante no influye, en gran medida, en la estimación de costos.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5.5.2. Aguas Subterráneas

En el informe técnico "Minuta Técnica Nº003a/2005" se determina un caudal promedio subterráneo para el valle de 131 m³/s (variación de caudal entre 106 y 156 m³/s). Cabe destacar que este caudal subterráneo se obtuvo a partir de la precipitación de la zona alta del valle, ya que las isoyetas en la zona baja del valle son cercanas o iguales a cero. Lo anterior, implicaría que la recarga del acuífero en la zona baja se realizaría en la zona alta del valle.

Por otra parte y con el fin de caracterizar el acuífero del sector de Chaca, se realizó una prueba de bombeo y se analizaron 3 pruebas existentes en dicho sector. Se obtuvieron valores de la permeabilidad de alrededor de $9 \cdot 10^{-5}$ m/s en todos los pozos analizados, lo que indicaría que el acuífero es poco permeable. Los resultados se presentan en el Cuadro 5.5.2-1. Los datos, cálculos y resultados se presentan en el Anexo 5-2.

CUADRO 5.5.2-1
RESUMEN PERMEABILIDADES

Nº	Propietario	Permeabilidad (m/s)
1	Rolando Quispe Chambe	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$
2	Bernabé Carvajal y Luis Zúñiga	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$
3	Bernabé Carvajal y Luis Zúñiga	$7{,}2 \cdot 10^{-4}$
4	Sociedad Comercial Pagly Ltda.	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$
5	Pedro Aguilar	$8{,}9 \cdot 10^{-5}$
Promedio		$8{,}56 \cdot 10^{-5}$

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los relatos de la gente de Chaca, para años secos el nivel estático en las norias baja, y al bombear el agua durante una hora, el nivel en el pozo se reduce alrededor de 2 m, luego para recuperar el nivel inicial se debe esperar un día. Por otro lado, cuando el río baja hasta el mar, el nivel freático sube y al realizar el mismo ejercicio de bombeo, la velocidad de recuperación se reduce alrededor de 6 horas.

Estos antecedentes indicarían que los estratos superiores tendrían una mejor permeabilidad que los estratos inferiores.

5.6. 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, ya que requiere de información agroeconómica de tasas de riego.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

A pesar de lo anterior, para efectos del análisis se realizó un modelo de simulación preliminar (Anexo 5-3) y se evaluaron dos escenarios para cada una de las alternativas:

- Escenario 1: Un volumen útil asociado a una seguridad de riego de 85% para regar sólo la superficie de la zona alta de la cuenca (130 ha aprox.), permitiendo el paso de las crecidas hacia el sector de Chaca que recargaría la napa existente en el sector.
- Escenario 2: Un volumen útil asociado a una seguridad de riego de 85% para regar la superficie de de la zona alta de la cuenca y el sector de Chaca (245 ha aprox.), transportando las aguas al sector de Chaca por medio de una conducción.

Bajo dichos escenarios 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.

En el Cuadro 5.6-1 se presentan los volúmenes obtenidos por alternativa para los escenarios 1 y 2. La metodología para su determinación y los cálculos asociados se presentan en el acápite 4.3.9 del Capítulo 4.

CUADRO 5.6-1
RESUMEN VOLÚMENES POR ALTERNATIVA PARA CADA ESCENARIO

Escenario	Alternativa	V. Muerto (hm^3)	V. Útil (hm^3)	V. Umbral (hm^3)	V. Revancha (hm^3)	V. Total (hm^3)
1	1	1,52	4,1	5,62	2,88	8,5
	2	0,66	2,2	2,86	1,14	4,0
	3	0,54	2	2,54	0,86	3,4
2	1	1,52	9,8	11,32	4,88	16,2
	2	0,66	6,4	7,06	1,86	8,92
	3	0,54	6,1	6,64	1,5	8,14

Nota: V. Umbral = V. Muerto + V. Útil
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

5.7. EVALUACIÓN DE ANTEPROYECTO DE CAMINOS

5.7.1. 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, de acuerdo a la alternativa y escenario que se proponga como definitivo.

Con el fin de cuantificar, en la elección de la alternativa definitiva, dichas modificaciones, se han trazado las variantes de camino para cada una de las alternativas analizadas.

5.7.2. 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 5.7.2-1.

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.

CUADRO 5.7.2-1
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

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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%.

5.7.2.1. 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 5.7.2.1-1.

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%

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.7.2.1-1
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
Visib.	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
Planta	Radio Mínimo en Curva	Rm (m)	25	50	80	120	180	250	330	425	540	700	900		3.203.302
Planta	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)
Planta	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)
Planta	Peralte Máximo	P (%)	7	7	7	7	7	7/8	8	8	8	8	7		3.203.302
Planta	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)
Planta	Desarrollo Mín. ω = 9° y Rm	D (m)	-	7	12	17	26	35	47	60	76	100	130		3.203.303 (4)
Planta	Radio lím. Contra Peralte (3)	RL (m)	-	-	-	> 3500			> 7500						3.203.303 (3)
Planta	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)
Planta	Cond. Adicionales A	-	Por desarrollo Peralte - Por Longitud L máx.< 1,5 L min. - 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
Alzado	Curva Vertical Convexa (V*=Vp)	Kv (m)	300	400	700	1200	1800	300	4700	6850	9850	14000	16000		3.204.301 (1)
Alzado	Curva Vertical Cóncava (Vp)	Kc (m)	400	600	1000	1400	1900	2600	3400	4200	5200	6300	6300		3.204.301 (2)
Alzado	Curva Vertical Cóncava (Ilum. Artif.)	Kci (m)	250	400	650	950	1300	1700	2100	2600	3200	3700	3700		3.204.301 (3)
Alzado	C. Vertical Convexa x. Adelant. (6)	Ka (m)	3500	6300	9800	14900	21000	27200	33900	39100	45900	-	-		3.204.405
Alzado	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 Δ 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 Δmáx. 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

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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.

5.7.2.2.. 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.

5.7.3. Trazados de Variantes de Caminos

A continuación se indican las variantes proyectadas de los caminos existentes en la zona de embalse. Los trazados se indican en el plano CAM-01.

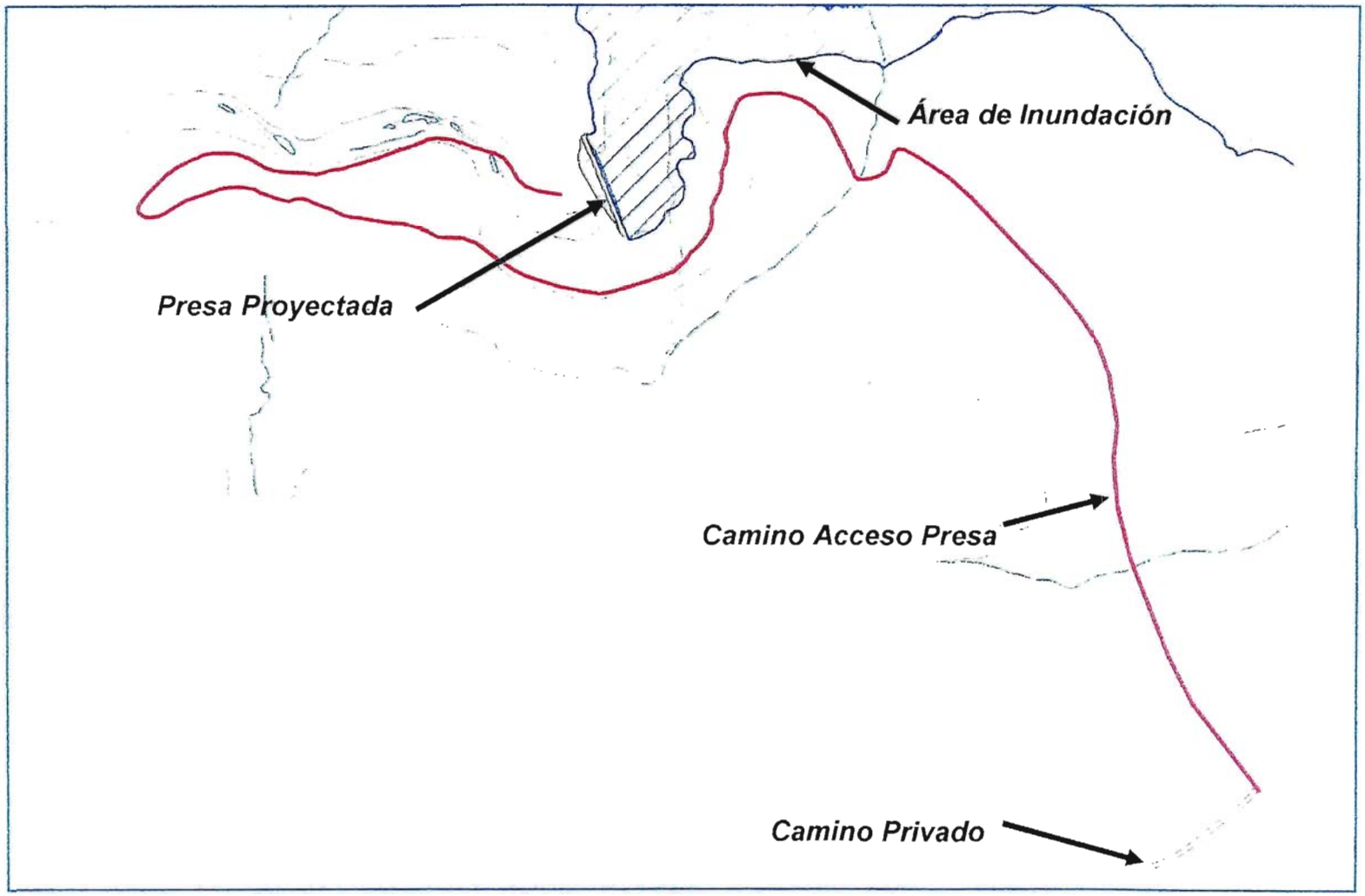
En la alternativa 1, se ha realizado una variante de 512 m de largo para la reposición de la ruta regional primaria A-319, que quedaría sumergida por las aguas. Además se ha elaborado un trazado de 1.609 m para el camino de acceso a la presa desde un camino privado presente en el sector. Los nuevos trazados se presentan en la Figura 5.7.3-1 y 5.7.3-2.

Al igual que en la alternativa 1, se ha realizado una variante, pero esta vez al camino que va desde la Pampa Umirpa (Empalme con Ruta -319) a Itiza, en la alternativa 2 para la reposición del trazado que quedaría sumergido por la construcción del muro. Este camino de se utilizaría además como acceso a la presa. El largo de la variante es de 3 km. El nuevo trazado se presenta en la Figura 5.7.3-3.

Para reponer el tramo de la ruta a Itiza que se inundaría como consecuencia de la de la construcción del muro proyectado de la alternativa 3 se ha elaborado una variante de 3,15 km, que se utilizaría también como acceso a la parte superior del muro. La variante se presenta en la Figura 5.7.3-4.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

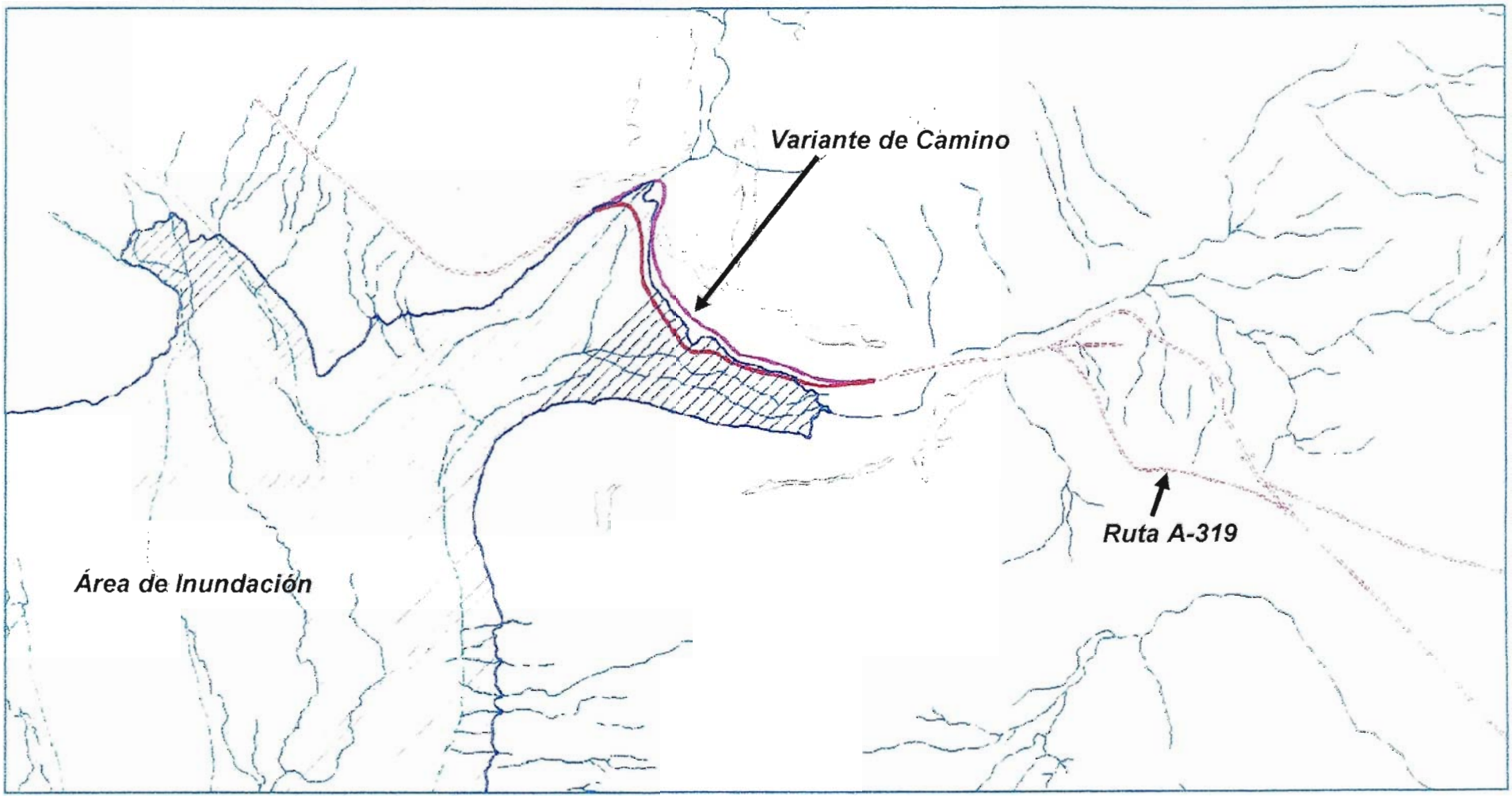
FIGURA 5.7.3-1
NUEVO TRAZADO Y VARIANTE DE CAMINO ALTERNATIVA 1 (1/2)



Fuente: Elaboración propia

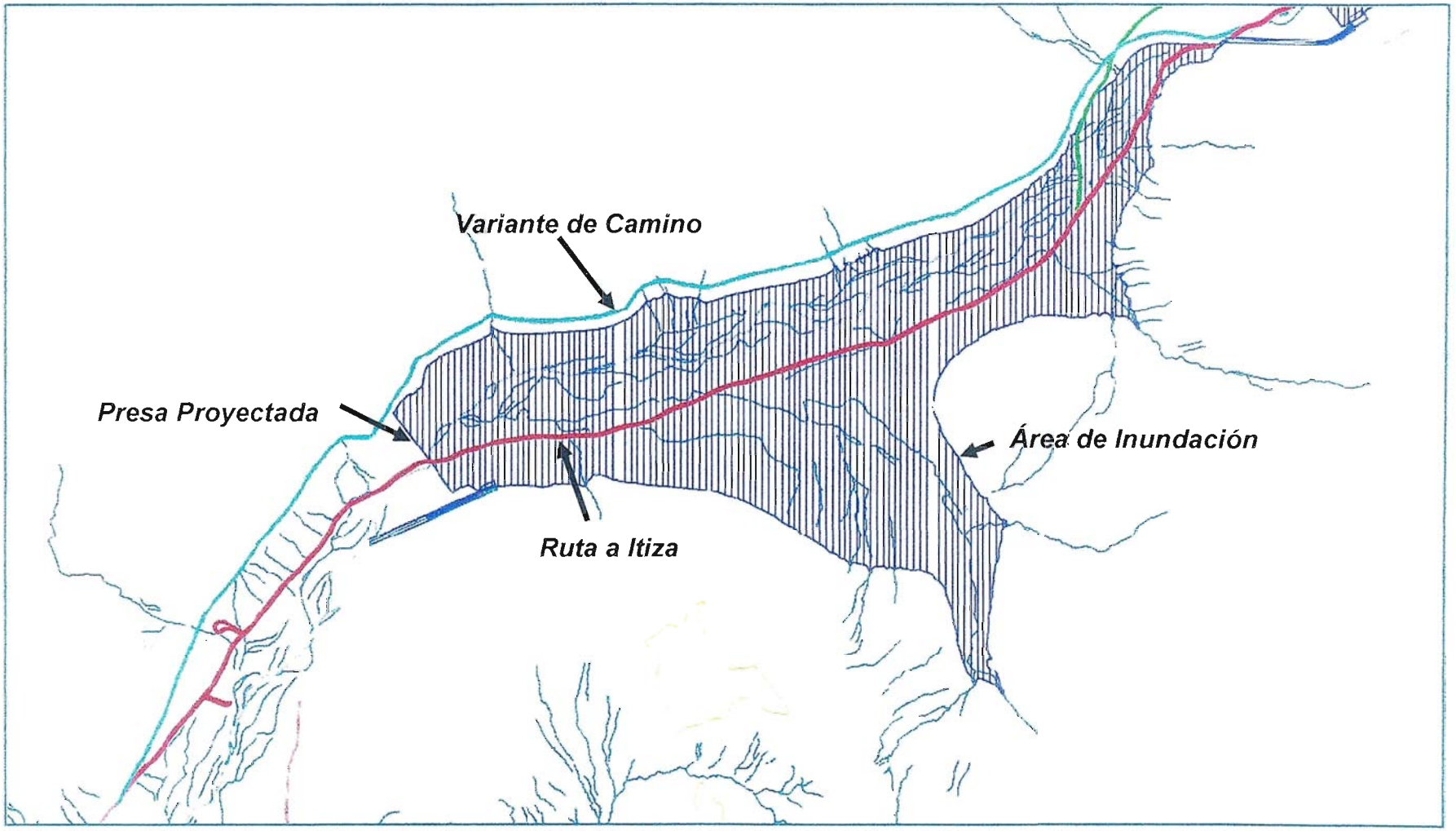
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 5.7.3-2
NUEVO TRAZADO Y VARIANTE DE CAMINO ALTERNATIVA 1 (2/2)



Fuente: Elaboración propia

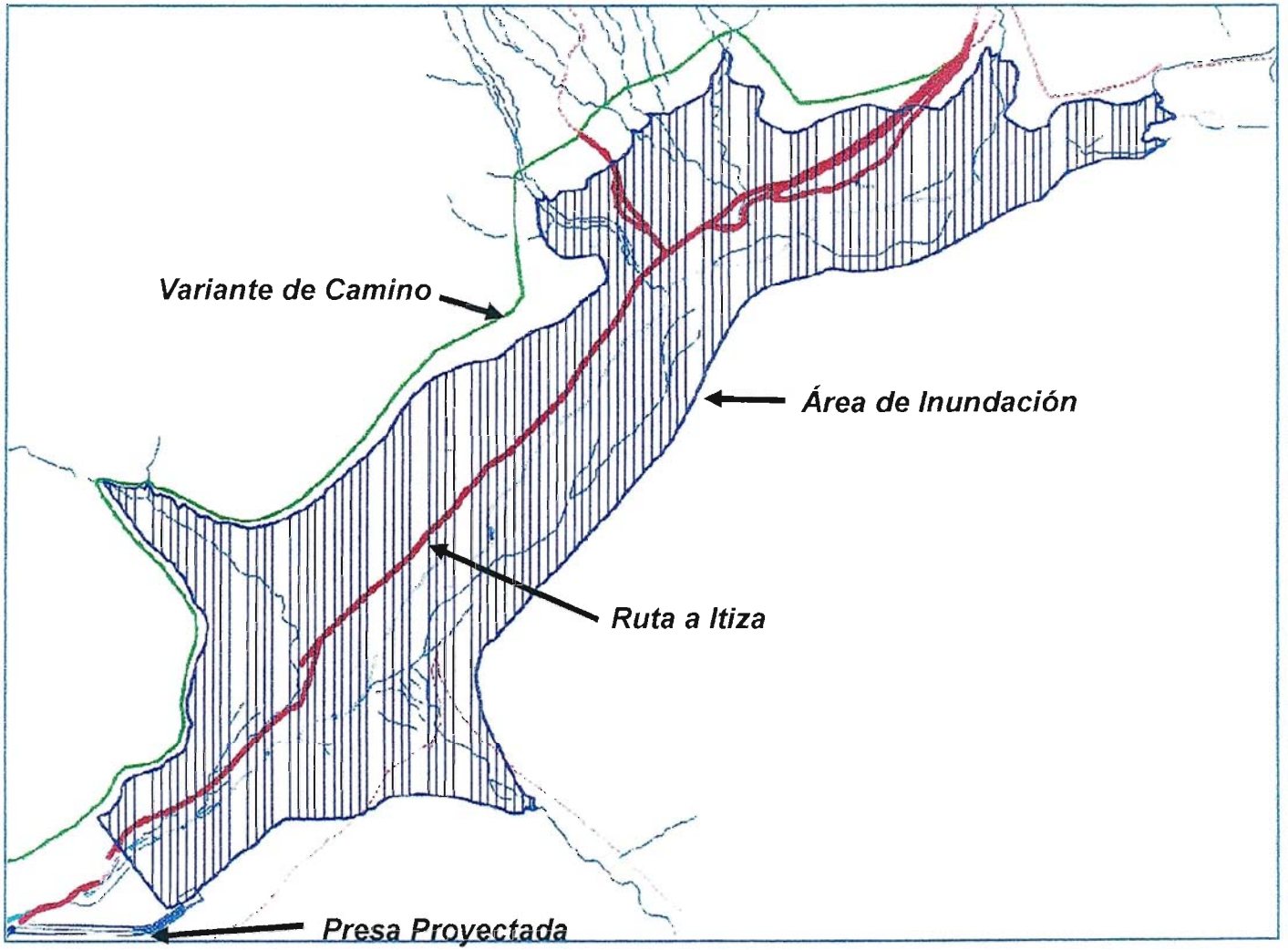
FIGURA 5.7.3-3
VARIANTE DE CAMINO ALTERNATIVA 2



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.7.3-4
VARIANTE DE CAMINO ALTERNATIVA 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

5.7.4. Costos de Construcción

El costo por alternativa de variante de camino se presenta en el Cuadro 5.7.4-1. El valor de la UF es de $22.536,41 al día 01/04/2012.

CUADRO 5.7.4-1
COSTO POR ALTERNATIVA DE VARIANTE DE CAMINO ($)

Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Excavación abierta en roca con explosivo	939.891.335	114.522.931	133.263.085
Excavaciones abiertas en roca	204.123.828	84.730.673	98.595.720
Relleno Terraplén	7.152.199	18.316.986	11.513.409
Cruce de Quebradas	20.000.000	40.000.000	40.000.000
Total Construcción de caminos	**1.171.167.363**	**257.570.590**	**283.372.214**

Fuente: Elaboración propia

5.8. EVALUACIÓN PARA RED DE CANALES

5.8.1. Introducción

En el presente acápite se presenta la evaluación realizada a la red de canales existentes en la Quebrada de Vítor. Para ello se utilizó la información recopilada en el catastro (Ver acápite 5.8.2) y los trabajos de topografía (Ver acápite 4.2, capítulo 4).

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 acápite.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

5.8.2. Catastro de Canales Matrices y Secundarios

El catastro se realizó durante los meses de Noviembre de 2011 y Febrero de 2012. En dicho periodo se recorrieron los canales matrices registrando y describiendo las distintas obras o singularidades presentes en sus trazados y se identificaron los canales secundarios. Para facilitar la localización de las bocatomas y canales se contó con la guía de don José Mamani y don Patricio Apata parceleros de la zona.

Cabe destacar que varios de los antiguos canales ya no existen por efecto de los cambios causados por las crecidas del río en la morfología de las riberas y por el descuido de los propietarios que no han realizado las adecuadas mantenciones.

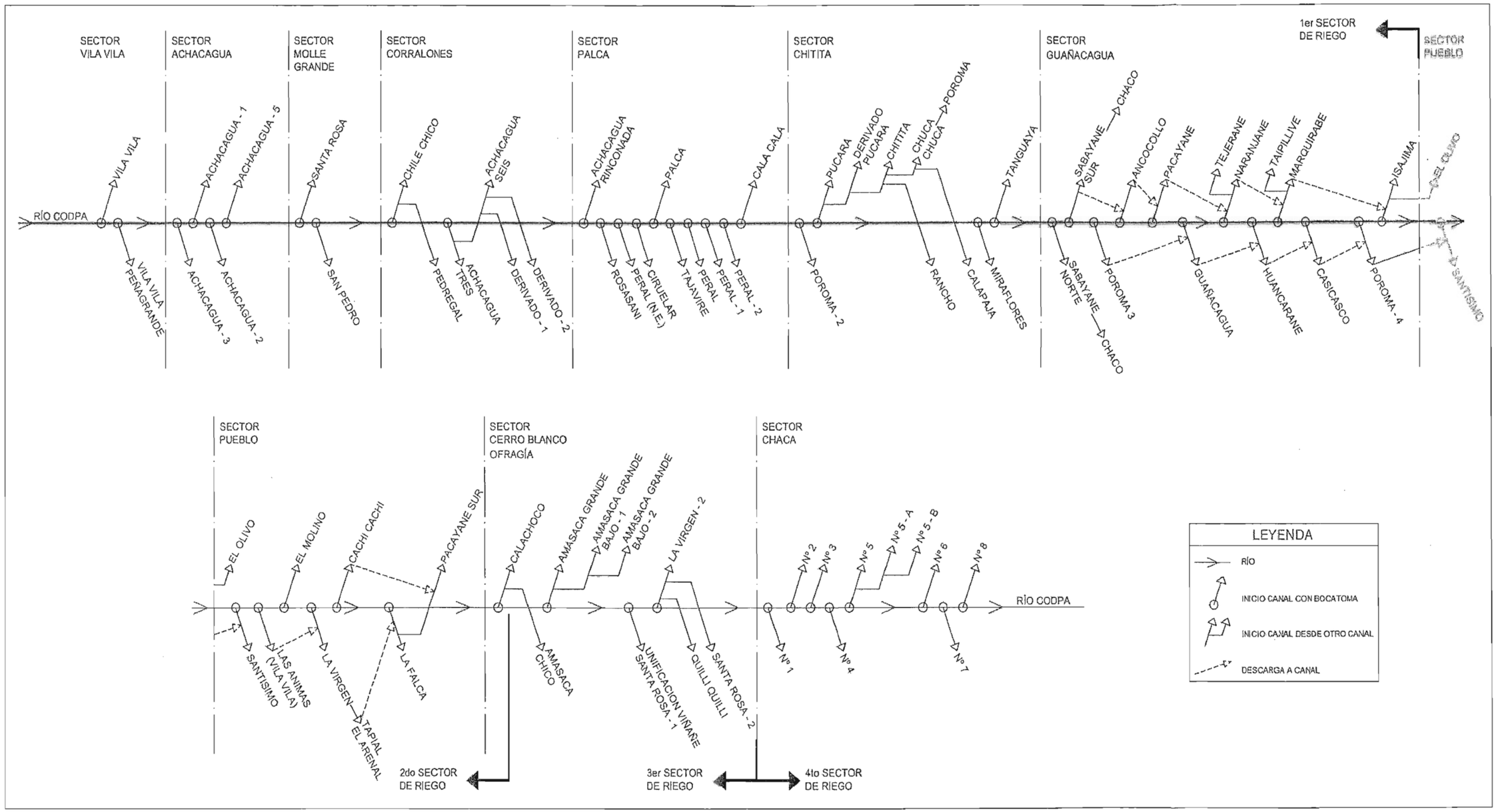
A raíz de los daños causados por el río en las tomas, se han efectuado varias unificaciones y conexiones entre los canales matrices, siendo los casos más llamativos, los canales pertenecientes al sector de Chitita, en donde solo se conservan 4 bocatomas de las 9 iniciales y los canales del sector de Guañacagua que, al llegar a su fin, descargan las aguas al canal continuo que está más aguas abajo. Esto permite también, realizar la mitación en forma inmediata evitando en lo posible la pérdida del agua en periodos secos.

La configuración de las bocatomas y sus respectivos canales matrices se indica en el diagrama unifilar presentado en la Figura 5.8.2-1, confeccionado a partir del catastro realizado en la actual consultoría.

Los resultados del catastro y el análisis de la infraestructura de riego existente se detallan en el Anexo 5-4.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 5.8.2-1
DIAGRAMA UNIFILAR CANALES MATRICES QUEBRADA DE VÍTOR



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

5.8.3. Análisis de la Infraestructura de Riego

Se obtuvieron las siguientes conclusiones a partir del catastro de canales:

- En el sector de Vila Vila predominan los canales en tuberías, por las quebradas laterales presentes que imposibilitan la construcción de canales de hormigón armado a lo largo de todo su trazado. No se ha finalizado la construcción total de los canales y se deben realizar mejoras en las bocatomas.

- En el sector de Achacagua no se encuentran canales construidos con hormigón lo que trae consigo un deterioro rápido de los trazados y que la conducción del agua sea menos eficiente. Este sector requeriría mayor atención al momento de considerar el proyecto.

- En el sector de Molle Grande no se encuentran canales construidos con hormigón, sin embargo los canales se encuentran en buen estado. De todas formas al considerar la situación con proyecto se deben revestir los tramos en tierra.

- Los canales del sector de Corralones se encuentran en buen estado, importante sería reparar los daños producidos por el tiempo y terminar de construir los canales que faltan. La mayoría de los trazados se encuentran construidos en tuberías. El problema principal en el sector de Corralones corresponde a la falta de un diseño y correcta ejecución del canal entubado, ya que este tipo de obras queda ubicada en forma superficial propensa a sufrir daños y deterioros en forma permanente, ya sea debido a carga y paso de animales, como cambios bruscos de temperatura.

- Se debe tener en cuenta que el acceso a los sectores de Vila Vila, Achacagua y Molle Grande sólo se puede realizar a pie o en caballos, y el tiempo de viaje desde el camino (donde se dejan los vehículos) hasta el río es de aproximadamente 1 hora y 30 minutos lo que dificulta su mantención. Por su parte, el sector de Corralones presenta condiciones similares a los puntos anteriores pero con un tiempo de viaje de 30 min.

- Los canales de los sectores de Palca y Chitita se encuentran en buen estado, solo faltarían algunas reparaciones y mantenciones menores para mejorar el funcionamiento de ellos. La mayoría de los trazados están construidos en hormigón armado. El mismo escenario se presenta para los canales del sector Guañacagua aunque el porcentaje de los trazados en hormigón, cercano al 80%, es menor a los dos otros sectores.

- Los canales del sector de Pueblo se encuentran en buen estado, la mayoría comprendidos de hormigón armado, sin embargo hay muchos canales que

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

necesitarían mejoras y reparaciones. Mucha limpieza que hacer y mantención.

- El estado de los canales del sector de Cerro Blanco-Ofragía es regular, el hecho de que la mayoría de ellos está construido en mampostería resalta que estén deteriorados.

- La mayoría de los canales del sector de Chaca tienen tramos en tierra o en proceso de construcción. Para efectos de la consultoría se debería revestir el total de los trazados.

- En general las entregas (metálicas, madera, o tacos de piedra) presentan fugas, las cuales se podrían solucionar mejorando el manejo de las compuertas al incluir paños u otros implementos similares en el sellado. La otra solución, más costosa, es implementar una mejor tecnología de sellado, instalando compuertas en cada una de las entregas de los canales.

- Para evitar las pérdidas por conducción, se deberían revestir el total de canales de tierra existentes.

- Para un mejor aprovechamiento del agua en periodos secos, se deberían conectar la mayoría de los canales con el fin de que el cambio de turno sea inmediato. Sin perjuicio a lo anterior, se podría realizar un plan de mejoramiento de las bocatomas antiguas, favoreciendo la independencia de los canales de aguas abajo en caso de que la toma principal fallase.

- Finalmente, para evitar la destrucción de las bocatomas, se recomienda un diseño más robusto, con el fin de que soporte el paso de las crecidas.

5.8.4. Capacidad Máxima Actual de los Canales

Dada la existencia de canales en el sector de estudio, se ha realizado una estimación de sus capacidades máximas 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.

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, trazado y pendientes de cada tramo de canal, a partir del catastro y los trabajos topográficos realizados en la quebrada de Vítor por esta consultoría.

- Se utilizó la ecuación de Manning para determinar el máximo escurrimiento a superficie libre para cada tramo de canal. Los coeficientes de rugosidad

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

utilizados se presentan en el Cuadro 5.8.4-1. Los valores se obtuvieron del Cuadro 5-6 del libro "Hidráulica de los Canales Abiertos, Ven Te Chow".

CUADRO 5.8.4-1
COEFICIENTE DE RUGOSIDAD EN CANALES EXISTENTES

Tipo de Canal	N de Manning
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 de carga máxima, si este era mayor que el obtenido a partir de la ecuación de Manning se elegía como el representativo del tramo.
- Se determinó el tipo de escurrimiento a máxima velocidad discriminando entre régimen de torrente, régimen en río y en presión.
- Se definió el máximo caudal a transportar por tramo de canal, de acuerdo a la capacidad del tramo anterior.

Los cálculos y resultados se presentan en el Anexo 5-5, y en el Acápite 5.8.5.4-d 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.

5.8.5. Estimación Preliminar del Caudal a Transportar

5.8.5.1. Introducción

Luego de conocer las capacidades máximas de los canales del valle de Vítor, se definieron los caudales correspondientes a cada canal, con el fin de determinar si era necesario proyectar nuevos canales en el sector alto y bajo del valle. Para obtener dichos caudales se procedió de la siguiente manera:

- Utilización de tasas de riego preliminares y áreas de riego estimadas.
- Determinación de régimen de turnos y estimación de caudales en la zona alta y baja del valle.
- Determinación de caudal por canal
- Determinación de caudal por tramo de canal

5.8.5.2. Tasas de Riego Preliminares y Área de Riego Estimada

El caudal para el sector alto y bajo del valle se calculó de manera preliminar en base a tasas de riego de 42 cultivos entregadas por la Dirección General de Aguas el año 2007[2], las que fueron promediadas, obteniendo los valores presentados en el Cuadro 5.8.5.2-1. Es importante destacar que en el análisis de la alternativa seleccionada se utiliza información más local y precisa acerca de las tasas de riego actuales y futuras en el valle de Vítor.

La zona alta de la cuenca incluye los sectores de Vila Vila, Achacagua, Molle Grande, Corralones, Palca, Chitita, Guañacagua, Pueblo y Cerro Blanco-Ofragía, mientras que la zona baja corresponde al sector de Chaca.

CUADRO 5.8.5.2-1
TASAS DE RIEGO PRELIMINARES

Mes	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Promedio
Tasa de Riego (L/s/ha)	0,25	0,19	0,28	0,33	0,61	0,95	1,01	1,00	0,78	0,68	0,57	0,36	0,6

Fuente: Elaboración propia

El área de riego varía de acuerdo al escenario que se analiza. Para el escenario 1, se ha considerado un área de 130 ha de riego mientras que en el escenario 2 la superficie es de 246 ha.

Estas se obtuvieron a partir del Cuadro Nº 4.6-11a y Nº 4.6-11b del estudio[3] realizado por R.E.G. para la DOH, en donde se indica que el área total de superficie regada en la zona precordillerana es de 97 ha y 148,9 ha en la zona costera.

En la zona alta se ha estimado un aumento del área a regar de 33 ha de acuerdo a estimaciones preliminares de superficie, quedando en un total de 130 ha de riego. Por otra parte, en la zona baja del valle, de las 148,9 ha se consideran 32,9 ha como parte del sector de caleta Vítor, quedando 116 ha para el sector de Chaca. Las 246 ha quedan para el escenario 2, quedan compuestas por 130 ha de la zona alta y 116 ha de la zona baja.

Utilizando las tasas de riego, los caudales máximos para la zona alta y baja son de 131 L/s y 117 L/s respectivamente.

[2] Estudios de Demanda de Agua Proyecciones Futuras. Zona I Norte. Regiones I a IV. SIT Nº 122.
[3] Estudios Agronómicos Básicos de los Valles Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, 2002.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

5.8.5.3. Régimen de Turnos y Caudales Estimados en la Zona Alta y Baja

a) Régimen de Turnos

El sistema de riego opera desde finales de octubre a marzo bajo un régimen de turnos a lo largo de la quebrada, el que se denomina "mitación" o simplemente "mita".

Según la Resolución N°340 de la Dirección de Riego de 1965, la distribución del agua de riego el valle está dividido teóricamente en cinco tramos, sin embargo, en forma práctica los tramos utilizados son los siguientes tres:

1.- Desde toma del canal Vila Vila hasta toma del canal Isajima

2.- Desde toma del canal Isajima hasta Calachoco.

3.- Desde Calachoco hasta Ofragía.

Finalmente, los turnos dentro de cada canal, lo operan y controlan de manera informal los miembros de las respectivas comunidades de agua.

Considerando los tramos actualmente utilizados, se ha definido que el riego de la zona alta del valle, desde el canal Vila Vila hasta el canal Santa Rosa Dos, se riega en tres turnos durante el periodo Abril – Diciembre, mientras que para la zona baja no se contemplan turnos. A cada tramo de riego se le denominará sector de riego 1, 2 y 3, respectivamente. La numeración se hizo de aguas arriba a aguas abajo.

Un ciclo de mita se fijó igual a un mes y la distribución de los turnos se definió proporcional al número de acciones, como volumen de agua de cada sector de riego. La inclusión de este criterio se debe a la poca claridad de los relatos de los regantes del sector y de la ambigüedad de la información disponible en la DGA regional, la cual se expone a continuación.

De acuerdo a los regantes, la mita no tiene un tiempo fijo ya que depende del tipo de año al que esté sometido el valle, por lo tanto, esta puede durar de uno a varios meses. A pesar de lo anterior se puede rescatar los siguientes aspectos:

- En periodos lluviosos dura alrededor de 27 días corridos durante los meses de Enero y Febrero, en tanto para años secos la duración de la mita se prolonga desde Septiembre hasta Febrero en ciclos de 60 a 80 días, en donde un ciclo corresponde al tiempo asociado al riego de los 3 sectores señalados.
- Los turnos se repartirían de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 5.8.5.3-1. Independiente del tipo de año, el sector 1 tiene alrededor del 66 % del tiempo

del ciclo de la mita en tanto los sectores 2 y 3 les corresponde el 19% y 15%, respectivamente.

CUADRO 5.8.5.3-1
MITACIÓN SEGÚN OPINIONES DE REGANTES

Sector de Riego	Periodo Seco		Periodo Lluvioso	
	Días	% del tiempo	Días	% del tiempo
1	18	66,67	40	64,52
2	5	18,52	12	19,35
3	4	14,81	10	16,13
Total	27	100	62	100

Fuente: Elaboración propia a partir de relato de regantes.

Por otro lado, de la Minuta Técnica N°003°/ 2005, "Determinación de la Disponibilidad de Derechos de Agua Superficial y Subterránea en la Cuenca de Quebrada de Vítor" se indica que la suma de derechos concedidos, a la fecha del estudio, era de 230 L/s pero no se conoce la simultaneidad en la cual captan los canales de un mismo turno. Algunos aspectos técnicos que se pueden rescatar del estudio son los siguientes:

- Número de acciones por comunidad, que en la mayoría de los casos corresponde a un canal y otros pocos a una comunidad.
- El tiempo asociado a cada acción y la magnitud del caudal que corresponde a este tiempo.

A modo de facilitar la comprensión de éstos parámetros se presentan los datos del canal Vila Vila en el Cuadro 5.8.5.3-2. El resto de datos se presentan en Cuadro N°1 de la Minuta Técnica N°003ª/ 2005 adjuntada en el Anexo 5-6.

CUADRO 5.8.5.3-2
DERECHOS CANAL VILA VILA

Sector	N° de Acciones $N°_{acc}$	Tiempo por acción t_{acc} (min)	Tiempo Total (min)	Caudal Q_{sol} (L/s)	Volumen Turno V_{turno} (m^3)
Vila Vila	240	10	2.400	30	4.320

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

El valor de V_{turno} se obtiene al realizar la siguiente ecuación:

$$V_{turno} = \frac{60 \cdot N^{o}_{acc} \cdot t_{acc} \cdot Q_{sol}}{1000}$$

Si se supone que no existe simultaneidad en la captación de los canales y se suma el tiempo en acciones por sector se obtiene un porcentaje del tiempo de entrega, similar al obtenido de los relatos de los regantes. Los resultados obtenidos en el Cuadro 5.8.5.3-3 se adecúan a un año seco pero no para años lluviosos donde el ciclo de mita se acorta a alrededor de 27 días.

CUADRO 5.8.5.3-3
MITACIÓN SEGÚN DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO DE ACCIONES Y VOLUMEN

Sector	tiempo de riego	% del tiempo	Volumen	% del volumen
1	39	62	130.122	62
2	15	24	50.058	24
3	8	13	28.812	14
Total	63	100	208.992	100

Fuente: Elaboración propia a partir de minuta Técnica N°003ª/ 2005.

En el caso del volumen la distribución es casi idéntica a la temporal pero no está restringida a si se está o no captando el agua de forma simultánea, ya que de todas maneras se debe completar la cuota volumétrica.

Dado los resultados anteriores, se decidió distribuir la mita en turnos proporcionales al volumen de agua (equivalente a las acciones) de cada sector, en un mes conforme al ciclo de mita de años secos, ya que éste sería el que generaría los mayores caudales. El régimen de turnos para la zona alta del valle es válido para los escenarios 1 y 2.

b) Caudales Estimados en la Zona Alta y Baja

Luego de determinar el régimen de Turnos del valle se procedió a definir los caudales en la zona alta y baja del valle.

Para definir el caudal de la zona alta se siguió la siguiente metodología:

- Se distribuyeron los días de cada mes del año según su porcentaje de volumen, de esta manera se obtuvo el número de días en los cuales se realiza el riego de cada sector.

- Se obtuvo una tasa máxima de riego igual a 131 L/s (equivalente a la tasa total de la zona alta) para cada uno de los sectores de riego en el mes de Noviembre. Luego se le agregó un 10% por pérdidas de conducción, y se redondeó, quedando el caudal en 147 L/s. Los cálculos se presentan en el Anexo 5-7.

- Se obtuvo una equivalencia de las acciones por L/s en cada sector. Columna (1) del Cuadro 5.8.5.3-4.

- Se realizó una equivalencia del caudal necesario por sector en el caso de que se regará durante todo el mes y no en una parte de éste. Columna (2) del Cuadro 5.8.5.3-4.

- Al igual que el resto, se distribuyeron las 130 ha de acuerdo al volumen de agua de cada sector de riego. Columna (3) del Cuadro 5.8.5.3-4.

En el Cuadro 5.8.5.3-4 se resumen los valores obtenidos.

CUADRO 5.8.5.3-4
CAUDAL MÁXIMO POR SECTOR DE RIEGO

Zona	Sector de Riego	Acciones (acc)	Tasa de Equivalencia (L/s/acc)	Caudal por turno (L/s)			Caudal por sector por mes (L/s)	Área de riego por sector (ha)
				0,62 mes	0,24 mes	0,14 mes		
-	-	-	(1)	-	-	-	(2)	(3)
Alta	1	5652	0,026	147			91,65	80,94
	2	2229	0,066		147		35,98	31,14
	3	1200,5	0,122			147	19,38	17,92
		9081,5					147,0	130,0
Baja	4	1587,5	0,094	150	150	150	150,0	150,0
		1587,5					150,0	150,0

Fuente: Elaboración propia.

Es importante señalar que el caudal mensual obtenido total para el mes de máximo riego es de 297,0 L/s muy por encima de los derechos superficiales otorgados que alcanzan la suma de 230 L/s según el informe de la DGA. En la zona baja o sector de riego 4, al caudal máximo de 130 L/s se le agrega un 20% por pérdidas de conducción y se redondea hasta alcanzar un valor de 150 L/s. El sector de riego 4 es válido solo para el escenario 2.

5.8.5.4. 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, considerando el sistema de turnos

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

indicado en el acápite anterior. El primero consideró el número de acciones de agua reconocidas en el valle de Vítor 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.

a) Caudal Según Número de Acciones

Para determinar el caudal de cada sector de riego según el número de acciones, se siguió la siguiente metodología:

- Se identificaron los canales con derechos de agua indicados en la Minuta Técnica N°003°/ 2005, y aquellos que no tienen derechos.
- Los canales sin derechos se separaron en derivados y en canales en comunidad, de acuerdo a la información señalada por los regantes. En el Cuadro 5.8.5.4-1 se identifican dichos canales. Los canales en comunidad son aquellos que comparten las mismas acciones que otro de la misma comunidad que, por cambios en la morfología, ya no son capaces de transportar las aguas de un punto a otro.

CUADRO 5.8.5.4-1
CAUDAL MÁXIMO POR SECTOR DE RIEGO

Sector	Nombre Comunidad	Información por Regantes
Vila Vila	Vila Vila Peñagrande	Pertenece a Comunidad Vila Vila
Achacagua	Achacagua 3	Pertenece a Comunidad Achacagua uno
Molle Grande	Santa Rosa	Pertenece a Comunidad Molle Grande
Corralones	Derivado 1 de Achacagua Seis	Es Derivado de Achacagua seis
Corralones	Derivado 2 de Achacagua Seis	Es Derivado de Achacagua seis
Palca	Ciruelar	Pertenece a Comunidad Rosasani
Palca	Tajavire	Pertenece a Comunidad Rosasani
Palca	El Peral	Pertenece a Comunidad Rosasani
Palca	El Peral 1	Pertenece a Comunidad Rosasani
Palca	El Peral 2	Pertenece a Comunidad Rosasani
Chitita	Derivado Pucara	Es derivado de Pucara
Cerro Blanco Ofragía	Calachoco Sur	Pertenece a Comunidad Amasaca Chico
Chaca	(Nr-5A)	Es Derivado de Nr-5
Chaca	(Nr-5B)	Es Derivado de Nr-5

Fuente: Elaboración propia a partir de información de regantes

- Se procedió a definir los L/s de cada canal multiplicando las acciones de los canales con la tasa de equivalencia correspondiente.
- Los derechos de los canales que ya no existen en el valle se repartieron en el sector al cual pertenecían.
- A los canales derivados se les asignó el mismo caudal que tiene su canal principal, para su análisis de capacidades. Este caudal no es incluido en la repartición de caudales del sector de riego.
- A los canales en comunidad se le asignó el mismo caudal que al canal representativo de dicha comunidad. Este caudal no es incluido en la repartición de caudales del sector de riego.

Los cálculos y resultados se presentan en el Anexo 5-7.

b) Caudal Según Área

Para determinar el caudal de cada sector de riego según el área potencial de riego, se siguió la siguiente metodología:

- A partir de la topografía del sector de canales y a las fotografías disponibles en Google Earth se asignó a cada canal un área de riego y su porcentaje con respecto al total de la zona.
- Luego se repartió el caudal del sector de acuerdo al porcentaje de área calculado. Se obtuvieron como resultados los caudales para cada canal de riego. Las áreas asignadas se pueden apreciar en los Planos CAN-01 y CAN-02.

Los cálculos y resultados se presentan en el Anexo 5-7.

c) Caudal Asignado a Cada Canal

En el Cuadro 5.8.5.4-2 se presentan los resultados obtenidos. En las columnas (2) y (3) se indican los caudales de acuerdo a los métodos indicados anteriormente, luego se utilizó de manera conservadora el mayor de los caudales por canal (4), para definir si su capacidad de porteo permitía satisfacer las demandas obtenidas por ambos métodos.

Para determinar si existían problemas de capacidad a lo largo de los canales se definió una tasa de entrega (6) según su longitud y el caudal máximo estimado.

De la misma manera, se incluyó el caudal máximo (7) indicado en el informe técnico de la DGA, 2005 en los canales con derechos, y se calculó una tasa de entrega para dichos caudales (8) obtenida al dividir el total del caudal por el largo del canal.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Cabe destacar, que en general los caudales del informe DGA sobrepasan los estimados en el presente informe y en muchas ocasiones este caudal es varias veces más que el necesario para satisfacer la demanda de riego.

CUADRO 5.8.5.4-2
CAUDALES POR CANAL

Nº	Canal	Q según acciones (L/s)	Q según área (L/s)	Máximo estimado (L/s)	Largo Total (m)	Tasa de entrega (L/s/m)	Q según acciones DGA 2005(l/s)	L/s/m DGA 2005
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	Vila Vila	6,4	26,8	26,8	2574	0,0104	30,0	0,0117
2	Vila Vila Peñagrande	6,4	1,9	6,4	406	0,0158	Sin Caudal	-
3	Achacagua 3	2,4	1,7	2,4	378	0,0064	Sin Caudal	-
4	Achacagua Uno	2,4	4,0	4,0	798	0,0051	60,0	0,0752
5	Achacagua Dos	6,9	1,1	6,9	225	0,0307	40,0	0,1778
8	Achacagua Cinco	4,2	1,6	4,2	286	0,0146	40,0	0,1399
9	Santa Rosa	4,2	2,2	4,2	638	0,0065	Sin Caudal	-
10	San Pedro	2,9	2,4	2,9	545	0,0053	40,0	0,0734
11	Chile Chico	1,8	0,5	1,8	211	0,0084	Sin Caudal	-
12	Pedregal	1,8	0,2	1,8	121	0,0146	Sin Caudal	-
13	Achacagua tres	1,8	0,5	1,8	350	0,0050	30,0	0,0857
14	Achacagua seis	1,4	2,7	2,7	716	0,0038	30,0	0,0419
14.1	Derivado 1 de Achacagua Seis	1,4	0,2	1,4	110	0,0131	Sin Caudal	-
14.2	Derivado 2 de Achacagua Seis	1,4	0,3	1,4	100	0,0144	Sin Caudal	-
15	Rosasani	1,4	0,5	1,4	187	0,0077	30,0	0,1603
16	Ciruelar	1,4	0,4	1,4	172	0,0084	Sin Caudal	-
17	Achacagua Rinconada	1,9	2,0	2,0	653	0,0031	30,0	0,0459
18	Tajavire	1,4	0,5	1,4	147	0,0098	Sin Caudal	-
19	Palca	11,6	2,7	11,6	614	0,0188	30,0	0,0489
20	El Peral	1,4	0,1	1,4	49	0,0295	Sin Caudal	-
21	El Peral 1	1,4	0,2	1,4	97	0,0149	Sin Caudal	-
22	El Peral 2	1,4	0,3	1,4	171	0,0085	Sin Caudal	-
23	Cala Cala	2,4	2,8	2,8	691	0,0040	40,0	0,0579
24	Poroma Dos	3,3	3,4	3,4	817	0,0042	40,0	0,0490
25	Pucara1 o Pucara	10,3	2,1	10,3	761	0,0135	40,0	0,0526
25.1	Derivado Pucara	10,3	2,5	10,3	733	0,0140	Sin Caudal	-
26	Chitita	5,8	5,0	5,8	1076	0,0054	40,0	0,0372
27	Rancho	1,4	0,9	1,4	329	0,0044	30,0	0,0912
28	Chuca Chuca	5,2	5,4	5,4	1114	0,0049	40,0	0,0359
29	Calapaja	0,6	0,1	0,6	201	0,0032	30,0	0,1493
30	Poroma	1,0	0,7	1,0	Poroma está incluido en Chuca Chuca			
31	Miraflores	2,3	2,2	2,3	628	0,0037	40,0	0,0637
32	Tanguaya	1,8	1,1	1,8	371	0,0048	40,0	0,1078
33	Sabayane Norte Uno	1,8	1,0	1,8	332	0,0053	30,0	0,0904
34	Sabayane Sur	0,8	3,7	3,7	893	0,0041	20,0	0,0224
36	Poroma Tres	6,4	3,3	6,4	637	0,0101	40,0	0,0628
37	Ancocollo	3,6	2,9	3,6	649	0,0056	30,0	0,0462

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.8.5.4-2
CAUDALES POR CANAL

Nº	Canal	Q según acciones (L/s)	Q según área (L/s)	Máximo estimado (L/s)	Largo Total (m)	Tasa de entrega (L/s/m)	Q según acciones DGA 2005(l/s)	L/s/m DGA 2005
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
38	Pacayane	2,2	1,8	2,2	662	0,0034	20,0	0,0302
39	Guañacagua	6,3	4,0	6,3	552	0,0113	40,0	0,0725
40	Naranjane	14,6	10,0	14,6	2031	0,0072	40,0	0,0197
40.1	Tejerane	14,6	3,0	14,6	365	0,0400	40,0	0,1096
41	Guancarane o Huancarane	10,8	9,6	10,8	1439	0,0075	40,0	0,0278
42	Casicasco	0,9	7,0	7,0	1324	0,0053	40,0	0,0302
43	Marquirabe	8,3	8,2	8,3	1238	0,0067	40,0	0,0323
43.1	Talpillive o Talpiñibe	2,1	0,5	2,1	150	0,0139	40,0	0,2667
44	Poroma Cuatro	8,6	5,5	8,6	1254	0,0069	40,0	0,0319
45	Isajima	5,5	7,7	7,7	1231	0,0063	40,0	0,0325
46	Santísimo	12,3	10,9	12,3	549	0,0224	40,0	0,0729
47	Olivo Segundo Sector	13,3	19,6	19,6	629	0,0312	30,0	0,0477
49	Las Animas	24,1	20,2	24,1	811	0,0298	40,0	0,0493
50	Molinos	15,1	9,1	15,1	629	0,0241	40,0	0,0636
51	La Virgen Uno	27,5	31,8	31,8	1233	0,0258	40,0	0,0324
52	Cachi Cachi	12,3	27,6	27,6	1304	0,0212	40,0	0,0307
53	El Tapial - El Arenal Uno	32,7	17,6	32,7	576	0,0567	40,0	0,0694
55	La Falca	8,8	10,1	10,1	755	0,0134	40,0	0,0530
55.1	Peragonia o Perasane o Pacayane Sur	0,9	5,2	5,2	369	0,0142	40,0	0,1084
58	Calachoco Sur	10,1	3,9	10,1	290	0,0349	Sin Caudal	-
59	Amasaca Chico	10,1	7,4	10,1	310	0,0326	40,0	0,1290
60	Unificación Amasaca Grande - Tapia	55,3	61,4	61,4	500	0,1227	40,0	0,0800
60.1	Amasaca Grande Bajo -1	55,3	61,4	61,4	376	0,1632	Sin Caudal	-
60.2	Amasaca Grande Bajo -2	55,3	61,4	61,4	1809	0,0339	Sin Caudal	-
62	Unificación Viñanes - Santa Rosa Uno	25,2	22,2	25,2	1132	0,0223	40,0	0,0353
63	La Virgen Dos	30,7	49,6	49,6	1695	0,0293	40,0	0,0236
64	Quilli Quilli	15,8	1,9	15,8	407	0,0387	40,0	0,0983
66	Santa Rosa Dos	9,8	4,5	9,8	235	0,0419	40,0	0,1702
67	CANAL -1	11,3	2,2	11,3	700	0,0162	40,0	0,0571
68	CANAL-2	15,9	14,2	15,9	1566	0,0101	40,0	0,0255
69	CANAL -3	15,9	15,7	15,9	753	0,0211	40,0	0,0531
70	CANAL-4	22,1	10,8	22,1	648	0,0341	40,0	0,0617
71	CANAL-5	37,7	20,7	37,7	1098	0,0343	30,0	0,0273
71.1	CANAL-5A	37,7	13,1	37,7	853	0,0441	Sin Caudal	-
71.2	CANAL-5B	37,7	4,8	37,7	564	0,0668	Sin Caudal	-
72	CANAL-6	30,1	31,8	31,8	980	0,0324	30,0	0,0306
73	CANAL-7	3,4	12,5	12,5	999	0,0125	25,0	0,0250
74	CANAL-8	13,6	24,2	24,2	819	0,0295	40,0	0,0488

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

d) Caudal a Transportar por Tramo de Canal

Luego de obtener los caudales para cada canal existente en el valle de Vítor se verificó que el canal no tuviera problemas de capacidad a lo largo de todo su desarrollo. Para ello se utilizaron las tasas de entrega definidas en el acápite anterior, y se compararon con las capacidades máximas calculadas anteriormente.

Los resultados se presentan por sector desde el Cuadro 5.8.5.4-3 hasta el Cuadro 5.8.5.5-12. Cada una de las columnas se explica a continuación:

(1)	(2)	(3)				(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo/Material de Conducción (m)				L acum. (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Mam	Tierra	Tub					

(1) = Canal: Nombre de Canal

(2) = Qmax: Caudal Máximo posible de transportar en L/s. Si el canal puede transportar el caudal captado en bocatoma, solo tendrá un tramo, en caso de que existan cambios que impidan el flujo del total del caudal se forma un nuevo tramo de capacidad máxima igual a la de la singularidad.

(3) Longitud por Tipo/Material de Conducción: indica si el canal es de tierra, si está revestido por hormigón (Hor) o Mampostería (Mam), o si la conducción es a través de una tubería (tub). Además indica la longitud del tipo de canal (m).

(4) L acum.: Indica la longitud acumulada del canal (m).

(5) Q estimado: es el máximo Caudal en L/s estimado a partir de los dos métodos descritos anteriormente (según número de acciones y área).

(6) Estado: indica si hay o no problemas de capacidad. Ok= no hay problemas. NO=tiene problemas de capacidad.

(7) Q DGA: Caudal en L/s de los canales según informe técnico DGA, 2005. Obtenido del Cuadro N°1 del a Minuta Técnica de la DGA, Anexo 5-6.

(8) Estado DGA: indica si hay o no problemas de capacidad para el Q DGA. Ok= no hay problemas. NO=tiene problemas de capacidad.

CUADRO 5.8.5.4-3
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR VILA VILA

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo de Conducción (m)			L acum. (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Tierra	Tub					
VILA VILA	164		47		47	26,8	ok	30,0	ok
	132	38			85	26,4	ok	29,5	ok
	121	1			86	26,0	ok	29,0	ok
	73			24	110	25,9	ok	29,0	ok
	69	797		833	1740	25,7	ok	28,7	ok
	52			44	1784	8,7	ok	9,7	ok
	50			57	1840	8,2	ok	9,2	ok
	45			109	1949	7,6	ok	8,5	ok
	37			183	2132	6,5	ok	7,3	ok
	30			151	2283	4,6	ok	5,2	ok
	24			118	2401	3,0	ok	3,4	ok
	9			173	2574	1,8	ok	2,0	ok
VILA VILA	709	25			25	6,4	ok	-	-
PEÑAGRANDE	34			381	406	6,0	ok	-	-

Fuente: Elaboración propia

En el sector de Vila Vila no se presentaron problemas de capacidad en ninguno de los canales.

CUADRO 5.8.5.4-4
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR ACHACAGUA

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo de Conducción (m)		L acum. (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Mamp.	Tierra					
ACHACAGUA -3	1780		130	130	2,4	ok		
	95		49	179	1,6	ok		
	68		199	378	1,3	ok		
ACHACAGUA-1	176		36	36	4,0	ok	60,0	ok
	61		38	74	3,9	ok	57,3	ok
	51	707	17	798	3,7	ok	54,4	NO
ACHACAGUA-2	46		41	41	6,9	ok	40,0	ok
	22		171	212	5,6	ok	32,7	NO
	18		13	225	0,4	ok	2,3	ok
ACHACAGUA-5	104		20	20	4,2	ok	40,0	ok
	85		18	38	3,9	ok	37,2	ok
	32		248	286	3,6	ok	34,7	NO

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

En el sector de Achacagua no se presentaron problemas de capacidad para el caudal estimado, pero si existirían problemas en los canales Achacagua 1, 2 y 3 cuando se considera el Q DGA.

Para solucionar los problemas de capacidad se debería realizar lo siguiente:

- Canal Achacagua-1: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 28 m desde el Km 0,074 hasta el Km 0,102 desde los 51 a los 55 L/s.
- Canal Achacagua-2: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 94 m desde el Km 0,073 hasta el Km 0,135 hasta los 35 L/s.
- Canal Achacagua-5: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 10 m desde el Km 0,038 hasta el Km 0,048 hasta los 35 L/s.

CUADRO 5.8.5.4-5
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR MOLLE GRANDE

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo/Material de Conducción (m)		L acum. (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Mamp.	Tierra					
SANTA ROSA	115	328	15	343	4,2	ok		
	65	23		366	1,9	ok		
	30	20		386	1,8	ok		
	20	252		638	1,6	ok		
SAN PEDRO	64	117	33	150	2,9	ok	40,0	ok
	46	283	112	545	2,1	ok	29,0	ok

Fuente: Elaboración propia

En el sector de Vila Vila no se presentaron problemas de capacidad en ninguno de los canales.

CUADRO 5.8.5.4-6
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR CORRALONES

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo/Material de Conducción (m)				L acum. (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Mamp	Tierra	Tub					
CHILE CHICO	39			5		5	1,8	ok		
	27		19	187		211	1,7	ok		
PEDREGAL	7				74	74	1,8	ok		
	6				47	121	0,7	ok		
ACHACAGUA TRES	79			26.5		27	1,8	ok	30,0	ok
	48	0.5				27	1,6	ok	27,7	ok
	41	1	79	11	65	183	1,6	ok	27,7	ok
	31			167		350	0,8	ok	14,3	ok

CUADRO 5.8.5.4-6
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR CORRALONES

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo/Material de Conducción (m)				L acum. (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Mamp	Tierra	Tub					
ACHACAGUA SEIS	76				44	44	2,7	ok	30,0	ok
	61				0.8	45	2,6	ok	28,2	ok
	59				12.5	57	2,6	ok	28,1	ok
	57				24.5	82	2,5	ok	27,6	ok
	50				61.9	144	2,4	ok	26,6	ok
	45				231	375	2,2	ok	24,0	ok
	11				118.14	493	1,3	ok	14,3	NO
	8				202.52	695	0,9	ok	9,4	NO
	5				21	716	0,1	ok	0,9	ok
DERIVADO UNO	18				55	55	1,4	ok		
	8			46	9	110	0,7	ok		
DERIVADO DOS	13				16	16	1,4	ok		
	11				36	52	1,2	ok		
	7				48.03	100	0,7	ok		

Fuente: Elaboración propia

En el sector de Corralones no se presentaron problemas de capacidad para el caudal estimado, pero si existirían problemas en el canal Achacagua 6 cuando se considera el Q DGA.

Para solucionar los problemas de capacidad se debería realizar lo siguiente:

- Canal Achacagua 6: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 342 m desde el Km 0,375 hasta el Km 0,716 hasta al menos los 15 L/s.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.8.5.4-7
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR PALCA

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo/Material de Conducción (m)		L acum. (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Tub					
ROSASANI	159	13		13	1,4	ok	30,0	ok
	130	47		60	1,3	ok	27,9	ok
	108	7,3		67	1,0	ok	20,4	ok
	82	119,9		187	0,9	ok	19,2	ok
CIRUELAR	41	109		109	1,4	ok		
	36	54,2	9	172	0,5	ok		
ACHACAGUA RINCONADA	69	139,8	73,2	213	2,0	ok	30,0	ok
	54		80,5	294	1,4	ok	20,2	ok
	53	1		295	1,1	ok	16,5	ok
	49	61,8		356	1,1	ok	16,5	ok
	37	60		416	0,9	ok	13,6	ok
	27	236,5		653	0,7	ok	10,9	ok
TAJAVIRE	37	147		147	1,4	ok	0,00	ok
PALCA	255	10		10	11,6	ok	30,0	ok
	143	17		27	11,4	ok	29,5	ok
	119	66		93	11,1	ok	28,7	ok
	101	17		110	9,8	ok	25,5	ok
	97	504		614	9,5	ok	24,6	ok
PERAL	50	11		11	1,45	ok		
	27	31		42	1,12	ok		
	25	7		49	0,21	ok		
PERAL -1	60	5	6	11	1,45	ok		
	52		23	34	1,28	ok		
	49	63		97	0,94	ok		
PERAL -2	86	6		6	1,45	ok		
	22	30		36	1,39	ok		
	13	121	14	171	1,14	ok		
CALA CALA	102	168		168	2,8	ok	40,0	ok
	91	26		194	2,1	ok	30,2	ok
	65	20		214	2,0	ok	28,7	ok
	41	476,6		691	1,9	ok	27,6	ok

Fuente: Elaboración propia

En el sector de Palca no se presentaron problemas de capacidad en ninguno de los canales.

CUADRO 5.8.5.4-8
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR CHITITA

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo de Conducción (m)			L acum. (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Tierra	Tub					
POROMA DOS	114			21	21	3,4	ok	40,0	ok
	66	333			354	3,3	ok	38,9	ok
	41	352,9		35,1	742	1,9	ok	22,6	ok
	37	42		32,5	817	0,3	ok	3,6	ok
PUCARA LADO SUR	302	10			10	20,6	ok	40,0	ok
	217	42			52	10,1	ok	39,5	ok
	142	192,5			245	9,6	ok	37,3	ok
	97	98			343	7,0	ok	27,1	ok
	75	66			409	5,7	ok	22,0	ok
	59	22,5			431	4,8	ok	18,5	ok
	53	330			761	4,5	ok	17,3	ok
DERIVADO PUCARA	474	60,6			61	10,3	ok		
	243	55			116	9,4	ok		
	187	31			147	8,7	ok		
	175	99			246	8,2	ok		
	55	8			254	6,8	ok		
	37	457,4		22	733	6,7	ok		
CHITITA	3274	4			4	5,8	ok	40,0	ok
	925	21,9			26	5,8	ok	39,9	ok
	293	4			30	5,6	ok	39,0	ok
	264	62,1			92	5,6	ok	38,9	ok
	263	23			115	5,3	ok	36,6	ok
	155	102			217	5,2	ok	35,7	ok
	151	134			351	4,6	ok	31,9	ok
	139	100			451	3,9	ok	27,0	ok
	81	59			510	3,4	ok	23,2	ok
	79	269			779	3,0	ok	21,0	ok
	43	14			793	1,6	ok	11,0	ok
	41	16			809	1,5	ok	10,5	ok
	34	126,9		4,1	940	1,4	ok	9,9	ok
	26	58			998	0,7	ok	5,1	ok
	12	22			1020	0,4	ok	2,9	ok
	8	56			1076	0,3	ok	2,1	ok
RANCHO	366	6			6	1,4	ok	30,0	ok
	314	22			28	1,4	ok	29,5	ok
	57	1,4		24,6	54	1,3	ok	27,4	ok
	46	51,1		61,9	167	1,2	ok	25,1	ok
	41	161,4		0,6	329	0,7	ok	14,8	ok
CHUCACHUCA	3280	4			4	6,4	ok	70,0	ok

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.8.5.4-8
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR CHITITA

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo de Conducción (m)			L acum. (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Tierra	Tub					
- POROMA	627	37			41	5,4	ok	39,9	ok
	258	26			67	5,2	ok	38,5	ok
	121	194			261	5,1	ok	37,6	ok
	111	25			286	4,2	ok	30,6	ok
	66	467			753	4,0	ok	29,7	ok
	41	42		139	934	1,8	ok	13,0	ok
	34	11		169	1114	0,9	ok	6,5	ok
CALAPAJA	51			26	26	0,6	ok	30,0	ok
	25	24	76	75	201	0,6	ok	26,1	NO
MIRAFLORES	675			14	14	2,3	ok	40,0	ok
	120	31			45	2,3	ok	39,1	ok
	52	252,9		76,1	374	2,2	ok	37,1	ok
	48	147,66		41,64	563	0,9	ok	16,2	ok
	35			64,7	628	0,2	ok	4,1	ok
TANGUAYA	85	50			50	1,8	ok	40,0	ok
	82	321			371	1,5	ok	34,6	ok

Fuente: Elaboración propia

En el sector de Chitita no se presentaron problemas de capacidad para el caudal estimado, pero si existirían problemas en el canal Calapaja cuando se considera el Q DGA.

Para solucionar los problemas de capacidad se debería realizar lo siguiente:

- Canal Calapaja: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 44 m desde el Km 0,0 hasta el Km 0,044 hasta los 30 L/s.

CUADRO 5.8.5.4-9
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR GUAÑACAGUA

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo/Material de Conducción (m)				L acum (m)	Q estimado (L/s)	Esta-do	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Mam	Tierra	Tub					
SABAYANE NORTE UNO	137	166,9				167	1,8	ok	30,0	ok
	77				32,1	199	0,9	ok	14,9	ok
	34	38,4		37	57,6	332	0,7	ok	12,0	ok
SABAYANE SUR	75				6	6	3,7	ok	20,0	ok
	41	874		13		893	3,6	ok	19,9	ok
POROMA TRES	40	631	6			637	6,4	ok	40,0	ok
ANCOCOLLO	97	439	12			451	3,6	ok	30,0	ok
	94	37				488	1,1	ok	9,2	ok
	82	161				649	0,9	ok	7,4	ok
PACAYANE	97	225		9	23	257	2,2	ok	20,0	ok
	79	405				662	1,4	ok	12,2	ok
GUAÑACAGUA	149	13			44	57	6,3	ok	40,0	ok
	148	9				66	5,6	ok	35,9	ok
	33	460			26	552	5,5	ok	35,2	NO
NARANJANE	104	299,3			41,7	341	14,6	ok	40,0	ok
	95	84				425	12,2	ok	33,3	ok
	90	12				437	11,6	ok	31,6	ok
	74	289,8			3,2	730	11,5	ok	31,4	ok
	70	210				940	9,4	ok	25,6	ok
	36	11				951	7,8	ok	21,5	ok
	28	47				998	7,8	ok	21,3	ok
	24	322				1320	7,4	ok	20,3	ok
	18	51				1371	5,1	ok	14,0	ok
	16	660				2031	4,7	ok	13,0	ok
TEJERANE	873	16				16	14,6	ok		
	359	9				25	14,0	ok		
	213	11				36	13,6	ok		
	212	32				68	13,2	ok		
	211	23			7	98	11,9	ok		
	145	185				283	10,7	ok		
	123	27				310	3,3	ok		
	109	13				323	2,2	ok		
	99	16				339	1,7	ok		
	85	26				365	1,0	ok		
HUACARANE	959	9,2				9	10,8	ok	40,0	ok
	131	7				16	10,8	ok	39,7	ok
	104	167,8				184	10,7	ok	39,5	ok
	78	19				203	9,5	ok	34,9	ok
	63	21				224	9,3	ok	34,4	ok
	23	1215				1439	9,2	ok	33,8	NO
CASICASCO	90	8				8	7,0	ok	40,0	ok

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.8.5.4-9
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR GUAÑACAGUA

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo/Material de Conducción (m)				L acum (m)	Q estimado (L/s)	Esta-do	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Mam	Tierra	Tub					
	71	570				578	6,9	ok	39,8	ok
	23	17				595	3,9	ok	22,5	ok
	19	727,8			1,2	1324	3,8	ok	22,0	NO
MARQUIRABE	71	1188,5			49,5	1238	8,3	ok	40,0	ok
TAIPILLIVE	112			38		38	2,1	ok	40,0	ok
	102			22		60	1,6	ok	29,9	ok
	65			17		77	1,3	ok	24,0	ok
	60			26		103	1,0	ok	19,5	ok
	54			47		150	0,7	ok	12,5	ok
POROMA CUATRO	2255	4			32	36	8,6	ok	40,0	ok
	1472	42				78	8,3	ok	38,9	ok
	142	47				125	8,1	ok	37,5	ok
	132	137				262	7,7	ok	36,0	ok
	119	247				509	6,8	ok	31,6	ok
	112	18				527	5,1	ok	23,8	ok
	111	42				569	5,0	ok	23,2	ok
	75	237				806	4,7	ok	21,9	ok
	67	448				1254	3,1	ok	14,3	ok
ISAJIMA	91	26				26	7,7	ok	40,0	ok
	88	10				36	7,6	ok	39,2	ok
	78	24				60	7,5	ok	38,8	ok
	69	42				102	7,3	ok	38,1	ok
	61	78				180	7,1	ok	36,7	ok
	47	1051				1231	6,6	ok	34,2	ok

Fuente: Elaboración propia

En el sector de Guañacagua no se presentaron problemas de capacidad para el caudal estimado, pero si existirían problemas en los canales Guañacagua, Huacarane y Casicasco cuando se considera el Q DGA.

Para solucionar los problemas de capacidad se debería realizar lo siguiente:

- Canal Guañacagua: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 26 m desde el Km 0,066 hasta el Km 0,092 hasta los 40 L/s.
- Canal Huacarane: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 45 m desde el Km 0,224 hasta el Km 0,269 hasta los 48 L/s.
- Canal Casicasco: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 26 m desde el Km 0,578 hasta el Km 0,604 hasta los 27 L/s.

CUADRO 5.8.5.4-10
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR PUEBLO

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo/Material de Conducción (m)		L acum (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Tub					
SANTÍSIMO	555	20		20	12,3	ok	40,0	ok
	394	26		46	11,9	ok	38,5	ok
	53	503		549	11,3	ok	36,6	ok
EL OLIVO	2225	19		19	18,4	ok	30,0	ok
	2224	22		41	17,8	ok	29,1	ok
	78	13		54	17,2	ok	28,0	ok
	65	39		93	16,8	ok	27,4	ok
	62	536		629	15,7	ok	25,6	ok
LAS ANIMAS	23	357		357	24,1	NO	40,0	NO
	16	454		811	13,5	ok	22,4	NO
EL MOLINO	15	607,6	21,4	629	15,1	NO	40,0	NO
LA VIRGEN	180	2		2	29,9	ok	40,0	ok
	133	10		12	29,8	ok	39,9	ok
	73	37		49	29,6	ok	39,6	ok
	51	29		78	28,7	ok	38,4	ok
	20	781	73	932	28,0	NO	37,5	NO
	13	224	77	1233	7,3	ok	9,8	ok
CACHICACHI	76	682	26	708	25,9	ok	40,0	ok
	70	325		1033	11,8	ok	18,3	ok
	61	26		1059	5,4	ok	8,3	ok
	39	245		1304	4,9	ok	7,5	ok
EL ARENAL EL TAPIAL	42	140,5	8,5	149	32,7	ok	40,0	ok
	18	427		576	24,2	NO	29,7	NO
LA FALCA	2308	2		2	9,5	ok	40,0	ok
	1651	2		4	9,4	ok	39,9	ok
	58	524		528	9,4	ok	39,8	ok
	50	205	22	755	2,8	ok	12,0	ok
PACAYANE SUR	199	4		4	4,9	ok	40,0	ok
	130	38,5		43	4,9	ok	39,6	ok
	114	43,5	2	88	4,3	ok	35,4	ok
	99	42		130	3,7	ok	30,5	ok
	91	239		369	3,2	ok	25,9	ok

Fuente: Elaboración propia

En el sector de Pueblo no se presentaron problemas de capacidad para el caudal estimado, pero si existirían problemas en los canales Las Ánimas, El Molino, La Virgen y El Arenal/El Tapial cuando se considera el Q DGA.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Para solucionar los problemas de capacidad se debería realizar lo siguiente:

- Canal Las Ánimas: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 32 m desde el Km 0,0 hasta el Km 0,032 hasta los 40 L/s. Además de debe aumentar un tramo de 23 m desde el Km 0,357 hasta el Km 0,380 hasta alcanzar al menos los 23 L/s.
- Canal El Molino: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 28 m desde el Km 0,0 hasta el Km 0,028 hasta al menos los 40 L/s.
- Canal La Virgen: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 64 m desde el Km 0,078 hasta el Km 0,142 hasta al menos los 40 L/s.
- Canal El Arena/El Tapial: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 19 m desde el Km 0,149 hasta el Km 0,168 hasta al menos los 30 L/s.

CUADRO 5.8.5.4-11
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR CERRO BLANCO – OFRAGÍA

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo/Material de Conducción (m)				L acum. (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Mamp	Tierra	Tub					
CALACHOCO SUR	127	155				155	10,1	ok		
	88	12				167	4,7	ok		
	67	123				290	4,3	ok		
AMASACA CHICO	52	276,3			33,7	310	10,1	ok	40,0	ok
AMASACA GRANDE O ALTILLO	224	88				88	61,4	ok	40,0	ok
	136				12,5	101	50,6	ok	33,0	ok
	102	188,7			5,8	295	49,0	ok	32,0	ok
	101	21				316	25,2	ok	16,4	ok
	73	184				500	22,6	ok	14,7	ok
AMASACA GRANDE BAJO-1	740	2				2	61,4	ok		
	350	1,3				3	61,0	ok		
	253	1,7				5	60,8	ok		
	164	39				44	60,6	ok		
	150	17				61	54,2	ok		
	143	75				136	51,4	ok		
	127	8				144	39,2	ok		
	107	47				191	37,9	ok		
	103	185				376	30,2	ok		
AMASACA GRANDE BAJO-2	354	49				49	61,4	ok		
	120	7				56	59,7	ok		
	108	15				71	59,5	ok		

CUADRO 5.8.5.4-11
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR CERRO BLANCO – OFRAGÍA

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo/Material de Conducción (m)				L acum. (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Mamp	Tierra	Tub					
	87	18				89	59,0	ok		
	69	559				648	58,4	ok		
	56	582,6			94,4	1325	39,4	ok		
	36	484				1809	16,4	ok		
UNIFICACIÓN	2834			29		29	25,2	ok	40,0	ok
	2152			3		32	24,6	ok	39,0	ok
	167				44,6	77	24,5	ok	38,9	ok
	76			0,6		77	23,5	ok	37,3	ok
	52		43	51,8	22	194	23,5	ok	37,3	ok
	47			14		208	20,9	ok	33,1	ok
	41			16		224	20,6	ok	32,7	ok
	37			23		247	20,2	ok	32,1	ok
	35		96	274	14	631	19,7	ok	31,3	ok
	21		48			679	11,2	ok	17,7	ok
	14		183			862	10,1	ok	16,0	NO
	8		188	50	32	1132	6,0	ok	9,5	NO
LA VIRGEN DOS	80	1659,3			35,7	1695	49,6	ok	40,0	ok
QUILLIQUILLI	7380	1,7				2	15,8	ok	40,0	ok
	310	2,3				4	15,7	ok	39,8	ok
	217	19				23	15,6	ok	39,6	ok
	197	19,6				43	14,9	ok	37,7	ok
	63	364,4				407	14,1	ok	35,8	ok
SANTA ROSA DOS	464	9				9	9,8	ok	40,0	ok
	364	8				17	9,5	ok	38,5	ok
	231	17				34	9,1	ok	37,2	ok
	159	0,5			27	62	8,4	ok	34,3	ok
	53				7,5	69	7,3	ok	29,6	ok
	52				40	109	7,0	ok	28,3	ok
	45				102,7	212	5,3	ok	21,5	ok
	44				23,6	235	1,0	ok	4,0	ok

Fuente: Elaboración propia

En el sector de Cerro Blanco - Ofragía no se presentaron problemas de capacidad para el caudal estimado, pero si existirían problemas en el canal Unificación cuando se considera el Q DGA.

Para solucionar los problemas de capacidad se debería realizar lo siguiente:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

- Canal Unificación: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 297 m desde el Km 0,697 hasta el Km 0,958 hasta los 23 L/s al inicio y 17 L/s al final.

CUADRO 5.8.5.4-12
CAUDALES MÁXIMOS A TRANSPORTAR SECTOR CHACA

CANAL	Qmax (L/s)	Longitud por Tipo/Material de Conducción (m)		L acum (m)	Q estimado (L/s)	Estado	Q DGA (L/s)	Estado DGA
		Hor	Tub					
NRO-1	110	400		400	11,3	ok	40,0	ok
	27	300		700	4,9	ok	17,1	ok
NRO-2	5433	100		100	15,9	ok	40,0	ok
	274	550		650	14,9	ok	37,4	ok
	267	250		900	9,3	ok	23,4	ok
	189	300		1200	6,8	ok	17,0	ok
	172	50		1250	3,7	ok	9,3	ok
	153	100		1350	3,2	ok	8,1	ok
	144	216		1566	2,2	ok	5,5	ok
NRO TRES	181	743	10	753	15,9	ok	40,0	ok
NRO CUATRO	95	450		450	22,1	ok	40,0	ok
	17		36	486	6,8	ok	12,2	ok
	9		162	648	5,5	ok	10,0	NO
NRO CINCO	514	59		59	37,7	ok	30,0	ok
	64	982	57	1098	35,6	ok	28,4	ok
5A	868	12		12	13,1	ok		
	367	50		62	12,9	ok		
	254	73		135	12,1	ok		
	133	310	71,5	517	11,0	ok		
	55	296,5	40	853	5,2	ok		
5B	327	100		100	4,8	ok		
	256	50,5	27,5	178	4,0	ok		
	70	330	56	564	3,3	ok		
NRO 6	205	175		175	31,8	ok	30,0	ok
	173	319		494	26,1	ok	24,6	ok
	168	421,8	64,2	980	15,8	ok	14,9	ok
NRO 7	256	100		100	12,5	ok	25,0	ok
	97	15		115	11,2	ok	22,5	ok
	67	34		149	11,1	ok	22,1	ok
	52	722	128	999	10,6	ok	21,3	ok
NRO 8	235	217		217	24,2	ok	40,0	ok
	183	602		819	17,8	ok	29,4	ok

Fuente: Elaboración propia

En el sector de Chaca no se presentaron problemas de capacidad para el caudal estimado, pero si existirían problemas en el canal Nro Cuatro cuando se considera el Q DGA.

Para solucionar los problemas de capacidad se debería realizar lo siguiente:

- Canal Nro Cuatro: se debe aumentar la capacidad de un tramo de 198 m desde el Km 0,450 hasta el Km 0,648 hasta los 20 L/s.

5.8.6. 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, ya que es suficiente con el mejoramiento de los tramos que se resumen en el Cuadro 5.8.6-1. Se ha incluido en este cuadro la proposición para la solución de capacidad del tramo. Lo anterior, es válido para las 130 ha y 146 ha consideradas en los escenarios 1 y 2.

CUADRO 5.8.6-1
MEJORAMIENTOS EN TRAMOS POR FALTA DE CAPACIDAD

Sector	Canal	L* (m)	Tramo (Km)		Capacidad Actual (L/s)		Solución
			Km Ini	Km Fin	Actual	Futura	
Achacagua	Achacagua-1	28	0,074	0,102	51	55	Hormigonar mampostería disminuir pendiente a 0,005, h 0,35 m
	Achacagua-2	94	0,073	0,135	22	35	Aumentar sección en tierra de un b=0,4 m a un b =0,6 m
	Achacagua-5	10	0,038	0,048	32	37	Aumentar sección en tierra de un b=0,35 m a un b =0,4 m
Corralones	Achacagua-6	342	0,375	0,716	11	30	Aumentar de tuberías de 75 mm a 150 mm
Chitita	Calapaja	44	0,0	0,044	25	30	Aumentar de tuberías de 110 mm a 150 mm
Guañacagua	Guañacagua	26	0,066	0,092	34	40	Aumentar de tuberías de 180 mm a 250 mm
	Huacarane	45	0,224	0,269	23	48	Aumentar sección aumentando la base de 0,3X0,3 a 0,3X0,5
	Casicasco	26	0,578	0,604	19	27	Aumentar sección aumentando la base de 0,3X0,35 a 0,3X0,45
Pueblo	Las Animas	32	0,0	0,032	23	45	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,4 a 0,3X0,6
		23	0,357	0,380	16	30	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,2 a 0,3X0,3
	El Molino	28	0,0	0,028	15	43	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,3 a 0,4X0,5
	La Virgen	64	0,078	0,142	20	44	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,3 a 0,4X0,4

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.8.6-1
MEJORAMIENTOS EN TRAMOS POR FALTA DE CAPACIDAD

Sector	Canal	L* (m)	Tramo (Km)		Capacidad Actual (L/s)		Solución
			Km Ini	Km Fin	Actual	Futura	
	El Arenal o El Tapial	19	0,149	0,168	18	32	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,3 a 0,3X0,45
Cerro Blanco-Ofragía	Unificación	297	0,679	0,958	8	16	Hormigonar mampostería y aumentar altura de 0,15 a 0,2 m, cambio de pendiente a 0,004 m/m.
Chaca	Nro Cuatro	198	0,45	0,648	9	20	Aumentar de tuberías de 110 mm a 180 mm

Nota: L* = Largo a mejorar
Fuente: Elaboración propia

Diferente es el caso cuando se desea transportar el agua desde el embalse hasta el sector de Chaca, ya que la capacidad de infiltración del lecho del río interrumpe su escurrimiento unos kilómetros aguas abajo del sector de Cerro Blanco – Ofragía, durante gran parte del tiempo. Por esto, se ha trazado una conducción en presión desde el sector de Ofragía hasta el sector de Chaca, con el fin de evitar la pérdida de agua por infiltración.

Dicha conducción, denominada conducción Ofragía-Chaca, se proyecta de un largo de 50,78 Km y su trazado se desarrolla siguiendo la morfología de la quebrada de Vítor, tal como se indica en la Figura 5.8.6-1.

FIGURA 5.8.6-1
TRAZADO CONDUCCIÓN OFRAGÍA – CHACA

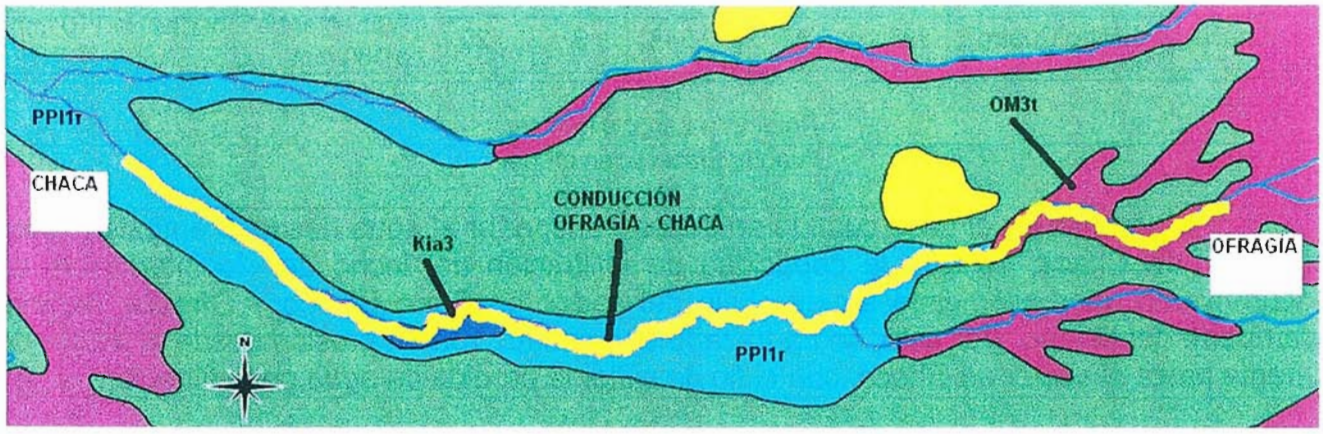


Fuente: Elaboración propia en base Imagen Google Earth

5.8.7. Sectorización Geotécnica de los Trazados

La conducción Ofragía – Chaca se ha trazado por el interior de la quebrada de Vítor, formada por el paso del agua a través de los años. El tipo de material existente es fluvial. Desde el punto geológico pasa por tres tipos de formaciones geológicas las cuales son OM3t, Ppl1r y Kia3. En donde Ppl1r se refiere a depósitos de remoción en masa, OM3t a secuencias piroclásticas y Kia3 a secuencias y complejos volcánicos continentales.

FIGURA 5.8.7-1
TRAZADO CONDUCCIÓN OFRAGÍA – CHACA



Fuente: Elaboración propia a partir de Mapa geológico escala 1:1.000.000, Sernageomin

Las características geológicas y geomorfológicas del sector del trazado de la conducción de mayor longitud, corresponde a formas generadas por transporte y depositación de sedimentos glaciales, fluvioglaciales y fluviales. Los procesos degradacionales de mayor riesgo que pudiesen afectar en las etapas de construcción y operación de la obra, son básicamente la erosión, remoción en masa y sismicidad.

El proceso degradacional de erosión lo genera, principalmente la escorrentía de aguas superficiales producto de la intensidad, duración y volumen de las precipitaciones y el proceso de remoción en masa de suelos, es una consecuencia directa de la fragilidad de las unidades sedimentarias en términos de composición granulométricas, posición topográfica relativa, relieve y pendientes ante procesos climáticos de lluvias de gran intensidad y permanencia en el tiempo.

Con el fin de garantizar la permanencia y seguridad de la obra ante estos procesos se sugiere enterrar la tubería en sector de depósitos denominados Ppl1r.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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. DISEÑO SIMPLIFICADO E INVERSIONES DE CADA EMBALSE

5.9.1. Introducción

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 de los escenarios indicados en el Acápite 5.6.

Para ello se utilizó la restitución aerofotogramétrica de escala 1:2.000 realizada en esta consultoría para los sitios de embalse y la restitución de escala 1:10.000 para el sector de canales.

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.

5.9.2. Diseño Simplificado de la Presa

5.9.2.1. 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

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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 y 2 se recomienda un vertedero lateral, mientras que en la alternativa 1 uno del tipo frontal. Un análisis detallado del vertedero se efectuará en el sitio seleccionado, incluyéndose un análisis del tipo de vertedero. En efecto, es posible que un vertedero de copa sea económicamente atractivo en este caso, 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 2 y 3, se diseñó un muro tipo CFGD (Concrete Face Gravel Dam) y para la alternativa 1 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. A continuación, se entregan algunas consideraciones para los diseños de la presa CFGD.

  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, 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

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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.

5.9.2.2. 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.

a) 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 se tiene que el caudal asociado a dicho periodo es de 51,9 m^3/s para la alternativa 1 y 32,4 m^3/s para las alternativas 2 y 3

En la alternativa 1 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 es de 4x4 m.

Por otra parte, en las alternativas 2 y 3 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} = 3,3 m.

Bajo los criterios anteriores se obtuvieron las dimensiones de las obras de desvío presentadas en el Cuadro 5.9.2.2-1. En el Anexo 5-8 se detallan los cálculos.

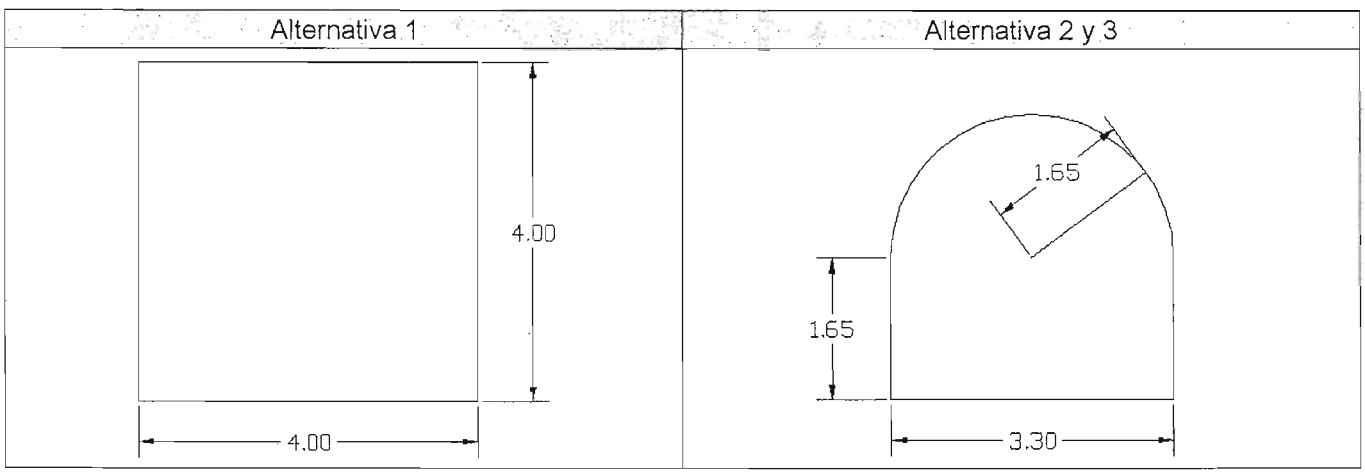
CUADRO 5.9.2.2-1
CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES DE LA OBRA DE DESVÍO

Variable	Alternativa 1	Alternativa 2 y 3
Caudal de diseño Q (m^3/s)	51,9	32,4
Tipo	Cajón	Túnel de Medio Punto
Dimensiones	4,0x4,0	3,3x3,3
Pendiente túnel i	0,006	0,006
Rugosidad del túnel n	0,018	0,018
Base del túnel b (m)	4,0	3,30
Caudal por unidad de ancho q ($m^3/s/m$)	12,98	9,82
Número de Froude	0,91	0,83
Radio de cielo del túnel R (m)	-	1,65
Altura de Muro vertical del túnel al (m)	-	1,65
Altura de escurrimiento normal hn (m)	2,74	2,32
Relación hn/D; hn/D_{tun}	0,68	0,70
Relación At/A		0,80
Velocidad de Escurrimiento (m/s)	4,74	4,18

Fuente: Elaboración propia

El valor del número de Froude en ambos casos es menor a 1, lo que indica que el flujo dentro el cajón y el túnel es subcrítico. Se cumple con la relación hn/D y hn/D_{tun}. En la Figura 5.9.2.2-1 se presentan las dimensiones de las secciones por alternativa.

FIGURA 5.9.2.2-1
DIMENSIONES TÚNEL MEDIO PUNTO Y CAJÓN



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

b) Capacidad Total

La capacidad total del embalse se compone del volumen útil, el volumen muerto y el volumen definido por la revancha para la evacuación de crecidas.

El volumen muerto corresponde al volumen estimado de sedimentos que se acumularán en el embalse producto de arrastre generado por el flujo del río, durante un periodo de 50 años (vida útil del proyecto). Se ha definido este volumen para las tres alternativas de sitio.

Para la estimación del volumen de sedimentos en suspensión (GSS) del embalse, se aplicaron diferentes métodos simplificados:

- Tasa Regional: En el embalse Cogotí, IV región, se determinó una tasa de producción anual de sedimento como resultado de un estudio de sedimentación del embalse (López et al, 1993) al igual que en Colbún (1993), en dichos estudios se obtuvo una tasa regional de 0,30 mm/año.
- Tasa US: Corresponde a un promedio obtenido en diversas cuencas de Estados Unidos, la que es igual a 0,24 mm/año.
- Método de Dendy & Bolton: ecuación obtenida de evaluar alrededor de 800 embalses en los Estados Unidos para estimar la producción de sedimentos en cuencas. Considera tanto el caudal medio anual, como el área de la cuenca aportante al embalse.
- Metodología USBR (Design of Small Dams, 1974, pág. 768)
- Correlación del caudales medios mensuales v/s sedimentos diarios y obtención de la curva tipo Qs=a*QLb. A partir de las mediciones en la estación sedimentológica Tocontasi, el río Lluta.

En el Cuadro 5.9.2.2-2 se muestra el resumen de la producción de sedimento (GSS) según cada metodología utilizada para las distintas zonas de embalse en Umirpa. Los cálculos se encuentran en el capítulo 4.3.9 y en el Anexo 5-9.

CUADRO 5.9.2.2-2
PRODUCCIÓN ANUAL DE SEDIMENTO ADOPTADA

Metodología	Dendy Bolton (t/día/km^2)	USBR (t/día/km^2)	Tasa Cogotí t/día/km^2	Tasa US (t/día/km^2)	Tasa Est. Tacontasi (t/día/km^2)
Alt. 1	1,62	1,38	1,36	1,08	0,61
Alt. 2	1,72	1,55	1,36	1,08	0,43
Alt. 3	1,73	1,58	1,36	1,08	0,38

Fuente: Elaboración propia

El Gasto Sólido de Arrastre de Fondo (GSF) se estima como el 10% del Gasto Sólido en Suspensión (GSS). El Gasto de Sólidos Total (GST) es la suma de los anteriores. Se ha considerado una eficiencia de retención igual al máximo posible (100%), lo que define el volumen muerto máximo posible. Al no existir diferencias en la eficiencia de retención, la altura del muro no influye en la acumulación de sedimentos, y por lo tanto, el Volumen Muerto es igual para ambos escenarios.

Se eligió la tasa obtenida con los datos registrados en la estación Tacontasi en Río Lluta ya que estos representan el arrastre real en una cuenca con características similares a la de Vítor y a que, de acuerdo a las inspecciones realizadas en terreno, no se observó un arrastre masivo de bolones después de las crecidas del verano. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 5.9.2.2-3.

El Volumen Útil se obtuvo del modelo de simulación preliminar bajo las condiciones de los escenarios 1 y 2. 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. Los resultados se indican en el Cuadro 5.9.2.2-4.

CUADRO 5.9.2.2-3
VOLUMEN MUERTO

Escenarios 1 y 2	Tasa (t/día/km^2)	Área Cuenca (km^2)	GSS (t/año)	GSS 50 años (hm^3)	Volumen Muerto 50 años (hm^3)
Alt 1	0,61	205	45.450	1,38	1,52
Alt 2	0,43	127	19.791	0,60	0,66
Alt 3	0,38	118	16.340	0,50	0,54

Se consideran 50 años de operación del embalse
GSS: gasto solido en suspensión del cauce; $\gamma = 1.65\ t/m^3$

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 5.9.2.2-4
VOLUMEN ÚTIL

Escenario	Área a Regar (ha)	Volumen Útil (hm^3)		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	130	4,10	2,20	2,00
2	245	9,80	6,40	6,10

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 5.9.2.2-5 se presentan dichos volúmenes.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.9.2.2-5
VOLUMEN DE UMBRAL

Escenario	Área a Regar (ha)	Vu = Volumen Útil + Muerto (hm^3)		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	130	5,62	2,86	2,54
2	245	11,32	7,06	6,64

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para obtener el volumen asociado a la revancha del embalse se calcula las dimensiones del vertedero. Para la alternativa 1 se piensa en vertedero frontal, mientras que en las alternativas 2 y 3, el vertedero proyectado es lateral.

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 5.9.2.2-6 se presentan las alturas para cada alternativa.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.9.2.2-6
ALTURA DE UMBRAL

Escenario	Área a Regar (ha)	Altura Vu (m)		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	130	17,5	19,8	22,6
2	245	21,0	29,1	34,4

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 5.9.2.2-6 en algunos casos son mayores o próximas a los 30 m, por lo tanto al incluir la revancha, la categoría del embalse cambia de B a C. En el Cuadro 5.9.2.2-7 se indica la categoría de cada alternativa.

CUADRO 5.9.2.2-7
CATEGORÍA EMBALSE

Escenario	Categoría		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	B	B	B
2	B	C	C

Fuente: Elaboración propia

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 500 años para los embalses tipo B y 1.000 años para los embalses tipo C. Los caudales de diseño y verificación se presentan en el Cuadro 5.9.2.2-8.

CUADRO 5.9.2.2-8
CATEGORÍA EMBALSE

Escenario	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Caudal de Diseño (m^3/s)			Caudal de Verificación (m^3/s)		
1	148,0	92,0	92,0	173,0	107,9	107,9
2	148,0	107,9	107,9	173,0	168,5	168,5

Fuente: Elaboración propia

Se adoptó una longitud de vertedero de 30 metros para todas las alternativas. Aplicando la ecuación de descarga del vertedero se obtiene la altura de agua sobre el vertedero:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

$$Q = C \cdot L \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot h \cdot g}$$

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 (m).

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 5.9.2.2-9. Los cálculos se presentan en el Anexo 5-8.

Luego, sobre la cota de umbral del vertedero, se consideraron 2 m de revancha para la alternativa 1 por su capacidad de verter a lo largo de todo su muro y 3 m de revancha para las alternativas 2 y 3, que incluyen en forma estimada las revanchas de vertedero, asentamiento (≈ 0,5 m) y oleaje (≈ 1,0 m).

CUADRO 5.9.2.2-9
CARGA SOBRE VERTEDERO

Escenario	Altura h sobre vertedero (m)		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	1,8	1,3	1,3
2	1,8	1,5	1,5

Fuente: Elaboración propia

Se verificaron las revanchas de las alternativas tipo B y C para las crecidas de periodo de retorno igual a 1.000 y 10.000 años, respectivamente. La carga sobre el vertedero se indica en el Cuadro 5.9.2.2-10.

CUADRO 5.9.2.2-10
CARGA SOBRE VERTEDERO

Escenario	Altura h, Caudal de verificación (m)		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	2,1*	1,5	1,5
2	2,1*	2,0	2,0

(*)= la carga sobrepasa el vertedero a los 2 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 ALT-01, ALT-02, ALT-03, ALT-04, ALT-05, ALT-06, ALT-07, ALT-08, ALT-09 y ALT-10. En el Cuadro 5.9.2.2-11 y 5.9.2.2-12 se presentan las cotas, altura de muro y la capacidad máxima de las alternativas de embalse para cada uno de los dos escenarios propuestos. En el Anexo 5-8 se presentan los cálculos y dimensionamientos simplificados para cada una de las alternativas.

CUADRO 5.9.2.2-11
COTAS Y ALTURA DE MURO PARA CADA ALTERNATIVA, ESCENARIO 1

Alternativa	Cota de fondo (m.s.n.m.)	Cota Umbral Vertedero (m.s.n.m.)	Cota Coronamiento (m.s.n.m.)	Altura del Muro (m)	Volumen Total (hm^3)
1	3860,0	3877,5	3879,5	19,5	8,5
2	3922,0	3941,8	3944,8	22,8	4,0
3	3960,0	3982,6	3985,6	25,6	3,4

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 5.9.2.2-12
COTAS Y ALTURA DE MURO PARA CADA ALTERNATIVA, ESCENARIO 2

Alternativa	Cota de fondo (m.s.n.m.)	Cota Umbral Vertedero (m.s.n.m.)	Cota Coronamiento (m.s.n.m.)	Altura del Muro (m)	Volumen Total (hm^3)
1	3860,0	3881,0	3883,0	23,0	16,2
2	3922,0	3951,1	3954,1	32,1	8,9
3	3960,0	3994,4	3997,4	37,4	8,1

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

5.9.3. Diseño Simplificado de Obras de Conducción y Distribución

5.9.3.1. Caudal de Diseño

Los caudales de diseño para realizar los mejoramientos de los canales con problemas en la capacidad de conducción son los indicados en el Cuadro 5.9.3.1-1.

CUADRO 5.9.3.1-1
CAUDALES DE DISEÑO PARA MEJORAMIENTO DE CANALES

Sector	Canal	L (m)	Tramo (Km)		Caudal de Diseño (L/s)
			Km. Inicio	Km. Fin	
Achacagua	Achacagua-1	28	0,074	0,102	55
	Achacagua-2	94	0,073	0,135	35
	Achacagua-5	10	0,038	0,048	37
Corralones	Achacagua-6	342	0,375	0,716	30
Chitita	Calapaja	44	0,0	0,044	30
Guañacagua	Guañacagua	26	0,066	0,092	40
	Huacarane	45	0,224	0,269	48
	Casicasco	26	0,578	0,604	27
Pueblo	Las Animas	32	0,0	0,032	45
		23	0,357	0,380	30
	El Molino	28	0,0	0,028	43
	La Virgen	64	0,078	0,142	44
	El Arenal o El Tapial	19	0,149	0,168	32
Cerro Blanco-Ofragía	Unificación	297	0,679	0,958	16
Chaca	Nro Cuatro	198	0,45	0,648	20

Fuente: Elaboración propia

Para el sistema de conducción Ofragía-Chaca del proyecto considerado en el Escenario Nº 2, se define el caudal de diseño según las tasas de riego de la zona un máximo de 150 L/s y un mínimo de 30 L/s.

5.9.3.2. 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:

a) 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,

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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

b) 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 los tramos de canal 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

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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.

c) 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.

d) 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.

e) 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:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$\frac{B_n}{B_c} \geq 1.10 \; ; B = h + \frac{v^2}{2 \cdot g} \; ; Bernoulli\ con\ respecto\ al\ fondo.$$

En estas expresiones se tiene:

B_n = Bernoulli normal (m)

B_c = Bernoulli crítico (m)

h = Altura de escurrimiento (m)

v = Velocidad (m/s)

f) 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.).

g) 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 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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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

h) 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.

i) 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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

j) Revestimiento del Canal

Se realizó 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.

5.9.3.3. 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:

a) Presiones de Trabajo

Para el diseño del sistema de tuberías se utilizó 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_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)
Δh_{fi}	=	Pérdida de carga fraccional en el tramo analizado de la tubería (m)
Δh_{si}	=	Pérdida de carga singular en el tramo analizado de la tubería (m)
Δ_{i-j}	=	Pérdida de carga total en el tramo analizado de la tubería (m)

b) 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.

c) Rugosidad Manning

El coeficiente de rugosidad depende de cada material de la tubería, tal como se muestra en el Cuadro 5.9.3.3-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.9.3.3-1
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 5-10

d) 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:

ρ = densidad del fluido (kg/m^3)
D = diámetro de tubería (m)
v_s = velocidad del flujo (m/s)
μ = viscosidad dinámica del fluido (kg/m/s)
ν = viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)

Rugosidad Relativa: $e = \varepsilon / D$

Donde:

e : rugosidad relativa
ε : rugosidad (mm)

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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 5.9.3.3-2.

CUADRO 5.9.3.3-2
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 5-10.

Luego de los resultados de ambas pérdidas se ha adoptado el menor de ellos, para obtener la menor pérdida de presión por fricción. Pues este caso considera que hay mayor presión en las tuberías siendo más conservador.

e) 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)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Como el trazado de la tubería es aún preliminar para determinar aproximadamente estas pérdidas se ha establecido que en cada cambio de dirección existe una singularidad y este produce una pérdida. El cálculo completo está disponible en el Anexo 5-10 de este informe.

5.9.3.4. Cálculos y Dimensiones de las Obras Proyectadas

En este acápite se establecerán las dimensiones del sistema de conducción de las aguas del embalse. Como se tienen dos escenarios de proyecto se establecerán por separado cada uno de ellos.

a) Cálculos y Dimensiones de las Obras Proyectadas Escenario 1

Se han calculado las nuevas dimensiones en los tramos en que el estrechamiento de la sección impedía el paso del caudal necesario aguas abajo de la singularidad. Para ello se cumplieron con los criterios indicados anteriormente. Las mejoras propuestas se presentan en el Cuadro 5.9.3.4-1. Los cálculos y resultados se presentan en el Anexo 5-11.

CUADRO 5.9.3.4-1
CANTIDAD DE TUBERÍAS PROYECTADAS

Sector	Canal	L (m)	Qd (m^3/s)	Solución
Achacagua	Achacagua-1	28	55	Hormigonar mampostería disminuir pendiente a 0,005, h=0,35 m
	Achacagua-2	94	35	Aumentar sección en tierra de un b=0,4 m a un b=0,6 m
	Achacagua-5	10	37	Aumentar sección en tierra de un b=0,35 m a un b=0,4 m
Corralones	Achacagua-6	342	30	Aumentar diámetro de tuberías de 75 mm a 150 mm
Chitita	Calapaja	44	30	Aumentar diámetro de tuberías de 110 mm a 150 mm
Guañacagua	Guañacagua	26	40	Aumentar diámetro de tuberías de 180 mm a 250 mm
	Huacarane	45	48	Aumentar sección aumentando la base de 0,3X0,3 a 0,3X0,5
	Casicasco	26	27	Aumentar sección aumentando la base de 0,3X0,35 a 0,3X0,45
Pueblo	Las Animas	32	45	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,4 a 0,3X0,6
		23	30	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,2 a 0,3X0,3
	El Molino	28	43	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,3 a 0,4X0,5
	La Virgen	64	44	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,3 a 0,4X0,4
	El Arenal o El Tapial	19	32	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,3 a 0,3X0,45
C.B.-Ofragía	Unificación	297	16	Hormigonar mampostería y aumentar altura de 0,15 a 0,2 m, cambio de pendiente a 0,004 m/m.
Chaca	Nro Cuatro	198	20	Aumentar diámetro de tuberías de 110 mm a 180 mm

Fuente: Elaboración propia

b) Cálculos y Dimensiones de las Obras Proyectadas Escenario 2

Las condiciones para la zona de riego aguas arriba de Ofragía-Chaca son exactamente las mismas que en el escenario 1, no hay modificaciones.

Tuberías

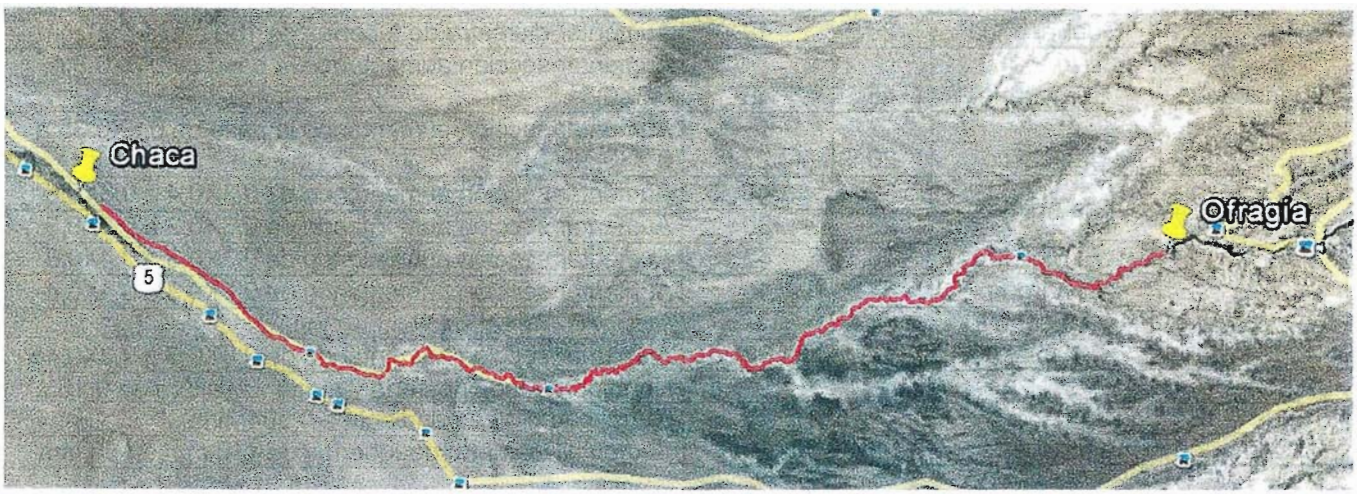
Como se ha visto anteriormente, se ha realizado el cálculo hidráulico con tres materiales de tuberías, HDPE, PRFV y ACERO, para poder realizar una comparación de presupuestos y sacar conclusiones. Dicho cálculo ha arrojado las siguientes dimensiones de tuberías que se presentan en el Cuadro 5.9.3.4-2 y en la Figura 5.9.3.4-1 se muestra el trazado de la tubería.

CUADRO 5.9.3.4-2
CANTIDAD DE TUBERÍAS PROYECTADAS

Material	Tipo de tubería	Largo (m)
HDPE	Tubería HDPE DN 400 PN16	47.900
	Tubería HDPE DN 315 PN10	2.887
PRFV	Tubería PRFV DN 350 PN16	47.900
	Tubería PRFV DN 300 PN10	2.887
ACERO	Tubería ACERO DN 12" e = 3mm	47.900
	Tubería ACERO DN 10" e = 3mm	2.887

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.9.3.4-1
TRAZADO DE TUBERÍA PROYECTADA



Fuente: Elaboración propia en base Imagen Google Earth

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Cámaras y Piezas Especiales

Como el diseño hidráulico contempla tuberías en presión se necesitan cámaras y piezas especiales que ayuden a controlar los eventos que ocurren en este tipo de conducciones, tal como se muestra en el Cuadro 5.9.3.4-3.

CUADRO 5.9.3.4-3
CANTIDAD DE CÁMARAS PROYECTADAS

Material	Tipo de Cámara	Unidades
HDPE	Cámaras de Carga	14
	Cámaras de Válvulas	14
	Cámaras de Ventosa	50
PRFV	Cámaras de Carga	14
	Cámaras de Válvulas	14
	Cámaras de Ventosa	50
ACERO	Cámaras de Carga	14
	Cámaras de Válvulas	14
	Cámaras de Ventosa	50

Fuente: Elaboración propia

Cada una de estas cámaras contempla piezas especiales como válvulas de mariposa, juntas autobloqueantes, ventosas, válvulas de compuertas las cuales dependen del tipo de diámetro y material de la tubería. La totalidad de estas piezas se puede ver en el Anexo 5-10.

5.9.4. Costo de las Inversiones

5.9.4.1. Precios Unitarios

Los precios unitarios, en adelante PU, que se utilizaron para el proyecto se prepararon a partir de información disponible en la base de datos del Consultor, en proyectos ejecutados en diciembre de 2003.

En el Cuadro 5.9.4.1-1 se muestran los Precios Unitarios de las principales partidas de las obras de arte del embalse, actualizados a Abril de 2012 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 5-12. Los precios indicados son costos directos, es decir, no incluyen gastos generales, utilidades ni tampoco IVA.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.9.4.1-1
PRECIOS UNITARIOS ($)
ABRIL 2012

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRIVADO
0001	Limpieza / Despeje	m²	1.796
0002	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108
0003	Excavación abierta en roca con explosivo	m³	47.647
0004	Relleno Hormigón Pobre con bolón	m³	47.350
0005	Hormigón H-30	m³	143.747
0006	Excavaciones en material común	m³	2.958
0007	Inyecciones	m	154.613
0008	Pared moldeada (0,6 m espesor)	m²	357.521
0009	Hormigón H-30 túnel	m³	185.196
00010	Excavación Subterránea en Roca	m³	82.589
00011	Instalación de Faenas	Gl	493.000.000
00012	Hormigón H-35	m³	156.749
00013	Hormigón Rodillado	m³	106.253
00014	Relleno Terraplén	m³	5.432
00015	Cruce de Quebradas	un	5.000.000
00016	Grava compactada	m³	8.799
00017	Pantalla Hormigón H-30	m³	143.747
00018	Plinto Hormigón H-30	m³	143.747
00019	Parapeto Hormigón H-30	m³	143.747
00020	Pernos de anclaje para taludes > 70°	m	140.985
00021	Marcos de refuerzo	un	512.447
00022	Puente cruce río	un	36.000.000
00023	Excavaciones en material fluvial	m³	3.844
00024	Obra de Captación y Entrega V. Tradicional	Gl	42.000.000
00025	Obra de Captación y Entrega V. de Copa	Gl	47.000.000
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	861
00032	Retiro excedentes	m³	2.949
00033	Tubería PRFV DN 350 PN16	m	39.514
00034	Tubería PRFV DN 300 PN10	m	35.742
00035	Cámaras piezas especiales	Gl	7.000.000
00036	Tubería Acero DN 12" e=4mm	m	34.722
00037	Tubería Acero DN 10" e=4mm	m	28.936

Nota: Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar Abr 2012: $ 487
UF Dic 2003: $ 16.920 UF Abr 2012: $ 22.536

Fuente: Elaboración propia

El precio unitario de hormigón rodillado es uno de los precios que más incide en el valor final de la presa RCC, por lo que se ha refinado su cálculo y se ha incluido también una planta de hormigones en Umirpa en las instalaciones de faenas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

5.9.4.2. Presupuesto de las Obras

En los Cuadros 5.9.4.2-1 a 5.9.4.2-4, se presentan los presupuestos de las alternativas analizadas según las partidas más importantes del proyecto. El detalle se puede ver en el Anexo 5-12.

CUADRO 5.9.4.2-1
ALTERNATIVAS EN ESCENARIO 1 (SIN RIEGO EN ZONA CHACA) ($)

Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Instalaciones Temporales	493.000.000	493.000.000	493.000.000
Preparación del terreno	12.547.424	82.682.341	64.098.621
Inyecciones	-	-	-
Excavaciones para muro RCC	94.288.764	-	-
Pared Moldeada presa de gravas	-	1.045.392.574	944.929.060
Relleno Asentamiento Presa RCC	384.860.800	-	-
Muro CFRGD	-	2.552.342.009	2.462.895.103
Volumen presa RCC	1.188.481.504	-	-
Vertedero y colchón	42.134.131	1.692.200.074	1.369.310.828
Túnel de desvío	15.000.000	208.930.637	193.605.900
Obra de captación y entrega	26.000.000	42.000.000	42.000.000
Construcción de caminos	1.171.167.363	257.570.590	283.372.214
Mejoramiento Canales Existentes	200.000.000	200.000.000	200.000.000
Entubamiento Escenario 2	-	-	-
Total Costo Directo	3.627.479.985	6.574.118.225	6.053.211.725
Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)	1.632.365.993	2.958.353.201	2.723.945.276
Contingencia (15%)	544.121.998	986.117.734	907.981.759
Sub-Total Neto	5.803.967.977	10.518.589.160	9.685.138.760

Nota: Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar Abr 2012: $ 487
UF Dic 2003: $ 16.920 UF Abr 2012: $ 22.536

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

CUADRO 5.9.4.2-2
ALTERNATIVAS EN ESCENARIO 2 TUBERÍAS DE HDPE ($)

Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Instalaciones Temporales	493.000.000	493.000.000	493.000.000
Preparación del terreno	3.884.625	106.136.998	64.098.621
Inyecciones	-	-	-
Excavaciones para muro RCC	105.112.006	-	-
Pared Moldeada presa de gravas	-	1.350.246.674	944.929.060
Relleno Asentamiento Presa RCC	427.286.400	-	-
Muro CFRGD	-	4.816.649.267	5.041.781.624
Volumen presa RCC	1.626.137.177	-	-
Vertedero y colchón	46.161.421	1.654.014.513	1.060.460.931
Túnel de desvío	15.000.000	208.930.637	230.435.695
Obra de captación y entrega	26.000.000	42.000.000	42.000.000
Construcción de caminos	1.171.167.363	257.570.590	283.372.214
Mejoramiento Canales Existentes	200.000.000	200.000.000	200.000.000
Entubamiento Escenario 2	6.517.404.919	6.517.404.919	6.517.404.919
Total Costo Directo	10.631.153.911	15.645.953.598	14.877.483.065
Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)	4.784.019.260	7.040.679.119	6.694.867.379
Contingencia (15%)	1.594.673.087	2.346.893.040	2.231.622.460
Sub-Total Neto	17.009.846.258	25.033.525.757	23.803.972.903

Nota: Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar Abr 2012: $ 487
UF Dic 2003: $ 16.920 UF Abr 2012: $ 22.536

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.9.4.2-3
ALTERNATIVAS EN ESCENARIO 2 TUBERÍAS DE PRFV ($)

Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Instalaciones Temporales	493.000.000	493.000.000	493.000.000
Preparación del terreno	3.884.625	106.136.998	64.098.621
Inyecciones	-	-	-
Excavaciones para muro RCC	105.112.006	-	-
Pared Moldeada presa de gravas	-	1.350.246.674	944.929.060
Relleno Asentamiento Presa RCC	427.286.400	-	-
Muro CFRGD	-	4.816.649.267	5.041.781.624
Volumen presa RCC	1.626.137.177	-	-
Vertedero y colchón	46.161.421	1.654.014.513	1.060.460.931
Túnel de desvío	15.000.000	208.930.637	230.435.695
Obra de captación y entrega	26.000.000	42.000.000	42.000.000
Construcción de caminos	1.171.167.363	257.570.590	283.372.214
Mejoramiento Canales Existentes	200.000.000	200.000.000	200.000.000
Entubamiento Escenario 2	3.282.133.203	3.282.133.203	3.282.133.203
Total Costo Directo	7.395.882.195	12.410.681.882	11.642.211.348
Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)	3.328.146.988	5.584.806.847	5.238.995.107
Contingencia (15%)	1.109.382.329	1.861.602.282	1.746.331.702
Sub-Total Neto	11.833.411.512	19.857.091.011	18.627.538.158

Nota: Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar Abr 2012: $ 487
UF Dic 2003: $ 16.920 UF Abr 2012: $ 22.536

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 5.9.4.2-4
ALTERNATIVAS EN ESCENARIO 2 TUBERÍAS DE ACERO ($)

Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Instalaciones Temporales	493.000.000	493.000.000	493.000.000
Preparación del terreno	3.884.625	106.136.998	64.098.621
Inyecciones	-	-	-
Excavaciones para muro RCC	105.112.006	-	-
Pared Moldeada presa de gravas	-	1.350.246.674	944.929.060
Relleno Asentamiento Presa RCC	427.286.400	-	-
Muro CFRGD	-	4.816.649.267	5.041.781.624
Volumen presa RCC	1.626.137.177	-	-
Vertedero y colchón	46.161.421	1.654.014.513	1.060.460.931
Túnel de desvío	15.000.000	208.930.637	230.435.695
Obra de captación y entrega	26.000.000	42.000.000	42.000.000
Construcción de caminos	1.171.167.363	257.570.590	283.372.214
Mejoramiento Canales Existentes	200.000.000	200.000.000	200.000.000
Entubamiento Escenario 2	2.971.925.580	2.971.925.580	2.971.925.580
Total Costo Directo	7.085.674.572	12.100.474.259	11.332.003.725
Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)	3.188.553.557	5.445.213.416	5.099.401.676
Contingencia (15%)	1.062.851.186	1.815.071.139	1.699.800.559
Sub-Total Neto	11.337.079.315	19.360.758.814	18.131.205.961

Nota: Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar Abr 2012: $ 487
UF Dic 2003: $ 16.920 UF Abr 2012: $ 22.536

Fuente: Elaboración propia

5.9.4.3. Resumen del Presupuesto de los Escenarios

El Cuadro 5.9.4.3-1 muestra el costo total de las obras por cada escenario, este Cuadro incluye costo de las obras, gastos generales y contingencia. No incluye expropiaciones. En la Figura 5.9.4.3-1 se muestra gráficamente este resumen.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

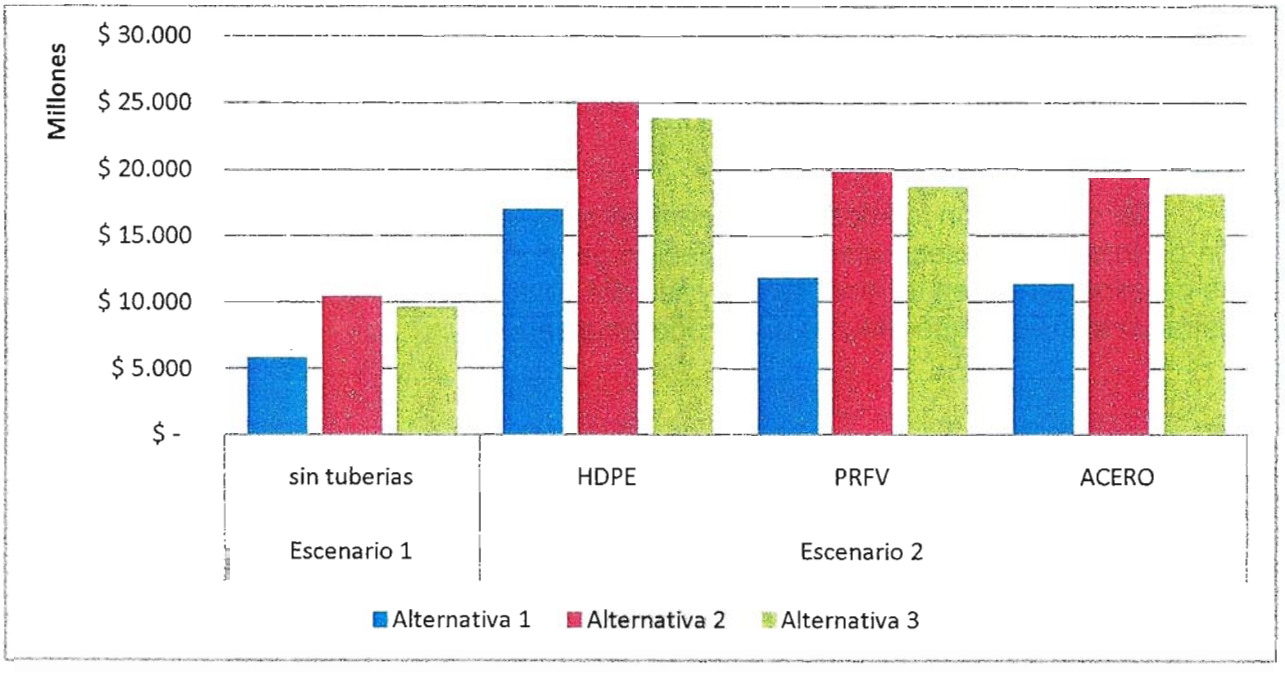
CUADRO 5.9.4.3-1
RESUMEN FINAL PRESUPUESTOS ($)

Resumen		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Escenario 1	Sin Tuberías	5.803.967.977	10.518.589.160	9.685.138.760
Escenario 2	HDPE	17.009.846.258	25.033.525.757	23.803.972.903
	PRFV	11.833.411.512	19.857.091.011	18.627.538.158
	ACERO	11.337.079.315	19.360.758.814	18.131.205.961

Nota: Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar Abr 2012: $ 487
UF Dic 2003: $ 16.920 UF Abr 2012: $ 22.536

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.9.4.3-1
RESUMEN FINAL PRESUPUESTOS



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

5.10. ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL

La implementación de las distintas obras en estudio, podrían significar efectos negativos en el medio ambiente. Por esto se deben evaluar - en el contexto ambiental y territorial - los impactos ambientales potenciales, considerando las zonas ambientales más sensibles. De este modo, en colaboración permanente con el equipo de ingeniería, se realizó el Estudio de Análisis Ambiental (EAA) para que el análisis de alternativas considere la dimensión ambiental. El presente acápite corresponde a un extracto del EAA, cuyo contenido detallado se puede ver en el Volumen 3.

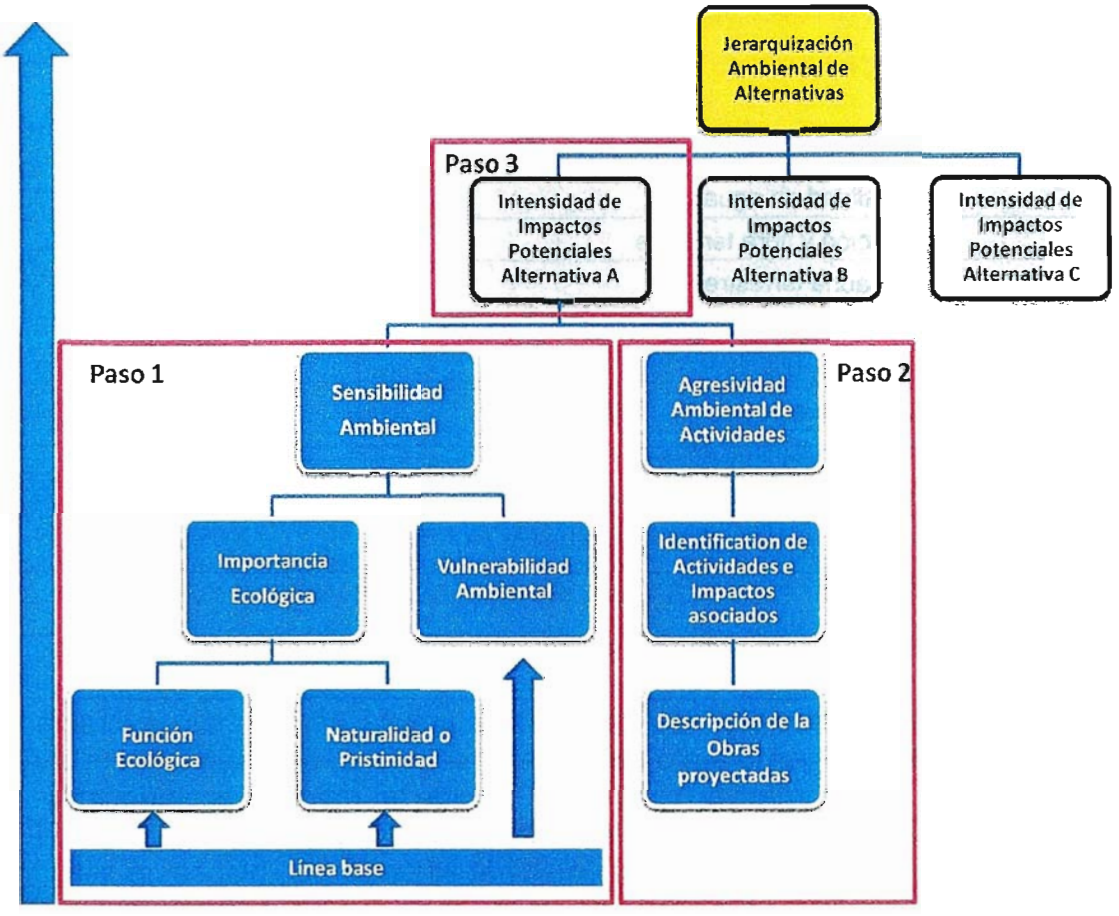
El EAA tiene por objetivo general, estudiar y evaluar ambientalmente los sitios de emplazamiento de embalse, evaluando en forma preliminar los potenciales impactos ambientales que se podrían generar durante la implementación y operación del proyecto. Se analiza también, la pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), estimando además y en forma preliminar, los costos del o los planes de manejo y seguimiento ambiental, de tal forma de lograr su comparación y análisis de ventajas y desventajas en este aspecto.

En ese contexto, el producto principal del EAA en esta etapa de la consultoría se traduce en una jerarquización de las Alternativas a través de la cual se recomienda aquella más sustentable desde la perspectiva ambiental. Esta jerarquización fue llevada a cabo mediante una metodología particular, con la cual se calculó un Índice Intensidad de Impacto Potencial para cada alternativa estudiada.

La descripción de los componentes ambientales fue llevada a cabo mediante revisión de información secundaria, apreciación general del terreno por parte del consultor y cheque de especialista en terreno para el caso del componente arqueológico. La Figura 5.10-1 muestra un esquema que resume el método empleado.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.10-1
ESQUEMA DEL MÉTODO DE JERARQUIZACIÓN AMBIENTAL DE LAS ALTERNATIVAS



Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 5.10-1 muestra el resultado del proceso de Evaluación de Impactos Potenciales.

CUADRO 5.10-1
JERARQUIZACIÓN AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS

Componente	Sensibilidad Ambiental		
	A1	A2	A3
Hidrología	4,50	5,00	5,00
Calidad de aguas	4,50	4,00	4,00
Vegetación y flora terrestre	5,00	2,75	2,75
Fauna terrestre	5,00	2,75	2,75
Flora y Fauna Acuática	5,00	2,75	2,75
Asentamientos humanos	4,00	4,00	4,00
Patrimonio Arqueológico y cultural	3,00	2,00	5,00
Sensibilidad Ambiental global de la Alternativa	4,43	3,32	3,75
Agresividad Ambiental Global de la Obra	3,80	2,39	2,20
Intensidad de Impacto Ambiental de la Alternativa	4,11	2,86	2,98
Jerarquización/Preferencia	3°	1°	2°

Fuente: Elaboración propia

Tal como es apreciable, la Alternativa 2 resulta ser la más favorable desde la perspectiva ambiental, y es por lo tanto, la primera recomendación seguido de la Alternativa 3 y en último lugar la Alternativa 1, la cual resulta la menos recomendable desde la perspectiva ambiental. En la eventualidad de resultar seleccionada la Alternativa 1 por otros criterios técnicos y económicos, se hace prioritaria la ejecución de planes de mitigación, y un estricto manejo y seguimiento ambiental con el fin de minimizar aquellos impactos que no puedan ser evitados.

Respecto del análisis de pertinencia de ingreso al SEIA, se concluye que el proyecto deberá someterse al SEIA como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), ya que es sabido que el tipo de obra estudiada en el presente Proyecto genera 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 m y p) del Reglamento del SEIA.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

5.11. EVALUACIÓN DE CADA SITIO Y SELECCIÓN DEL MEJOR EMPLAZAMIENTO

5.11.1. Introducción

En el presente acápite se enumeran los análisis necesarios para tomar la decisión acerca de dónde diseñar y construir el muro del embalse. Aún reconociendo que los costos totales deben ser el principal índice, existe una serie de factores complementarios, algunos de los cuales pueden quedar reflejados en los costos, pero otros tienen que ver con otras características que ofrecen los sitios, apreciables solamente en forma cualitativa en primera instancia, todo lo cual se describe a continuación. Las alternativas para el emplazamiento del muro son las siguientes:

- Alternativa 1: Propuesta por el Departamento de Proyectos de Riego, la de aguas abajo.
- Alternativa 2: La intermedia
- Alternativa 3: La de aguas arriba de las anteriores.

El análisis de alternativa se realizó considerando un volumen de embalse que garantizara un 85% de seguridad de riego bajo dos posibles escenarios de superficie a regar. El área estimada para el escenario 1 fue de 130 ha y corresponde a la zona de riego alta del valle, en tanto el escenario 2 considera la superficie de la zona alta y baja del valle con un total de 246 ha.

5.11.2. Antecedentes Considerados y su Evaluación Cualitativa

5.11.2.1. Tipo de Presa

Para cada sitio se tienen los siguientes antecedentes y recomendaciones:

- El sitio de presa 1 es ideal para la construcción de una presa de hormigón rodillado, si se confirma que en el fondo de la quebrada existe roca a poca profundidad.
- El sitio de presa 2 se estima que es apto para la construcción de una presa CFRD ó CFGD, pero en este caso habrá que remover mayor volumen de suelo para el apoyo del plinto sobre la roca y la pared moldeada de impermeabilización del suelo de fundación será de mayor longitud y mayor profundidad que en el sitio 1.
- El sitio de presa 3 es el que presenta mayores inconvenientes para el emplazamiento de una presa CFRD ó CFGD, a pesar de esto, al igual que el sitio 2, no es apto para la construcción de una presa de hormigón rodillado, debido a los grandes volúmenes de suelo que se debe remover para alcanzar la roca de apoyo.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Dadas las características y los antecedentes indicados anteriormente se analizó, para la elección de la mejor alternativa de emplazamiento, una presa tipo RCC para el sitio 1 y una presa tipo CFGD en los sitios 2 y 3. 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 la alternativa 1.

5.11.2.2. 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%. Con lo cual cada alternativa posee distintos volúmenes de agua y de muro. Se presenta en el Cuadro 5.11.2.2-1 y 5.11.2.2-2 la relación agua/muro para cada alternativa y escenario.

CUADRO 5.11.2.2-1
RELACIÓN AGUA/MURO ESCENARIO 1

E1	Volumen del muro (m^3)	Volumen de agua (m^3)	Relación Agua/muro
A1	10.845	8.500.000	784
A2	161.298	4.000.000	25
A3	168.120	3.400.000	20

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 5.11.2.2-2
RELACIÓN AGUA/MURO ESCENARIO 2

E2	Volumen del muro (m^3)	Volumen de agua (m^3)	Relación Agua/muro
A1	14.905	16.200.000	1.087
A2	339.809	8.900.000	26
A3	338.280	8.100.000	24

Fuente: Elaboración Propia

La alternativa 1 presenta una tremenda diferencia con respecto al resto de las alternativas por dos razones, el angostamiento geográfico donde se instalará no supera los 40 m de ancho, en desmedro de las alternativas 2 y 3 que tienen un ancho de muro sobre los 140 m, y por otro lado, la mayor capacidad de almacenamiento para una misma altura de muro. Es por eso que se aprecia una notable ventaja de la Alternativa 1 por sobre las otras 2.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

5.11.2.3. Características Geológicas y Geotécnicas de la Angostura

a) Características Geológicas

En lo que sigue, se proporciona un análisis y selección de un sitio de emplazamiento final del muro y obras anexas; se sustenta, exclusivamente, en consideraciones y aspectos propios de nuestra competencia profesional: geomorfología, tectónica, geología, geotecnia, hidrogeología y riesgos geológicos.

Conforme a ello, en términos comparativos respecto de los restantes 2 sitios alternativos para el emplazamiento del muro del Proyecto, la alternativa denominada Alternativa Umirpa 1, AU-1, presentaría las mejores condiciones y características para concentrar en ella, las próximas etapas del Proyecto conducentes a la definición, a nivel de prefactibilidad técnica, de la tipología y características de la presa, preliminarmente, sustentada en una estructura del hormigón rodillado, RCC.

A lo largo del eje propuesto para la alternativa AU-1, la configuración geomorfológica del valle de la quebrada Umirpa presenta una favorable y conveniente sección transversal, perfectamente enmarcada entre empinadas paredes estables de basamento rocoso expuesto, de origen volcánico, geomecánicamente competente, con RQD estimado de 75 a 85%; incluyen materiales densos, inalterados, con escaso fracturamiento, por tanto poco permeables, muy resistentes, con baja deformabilidad. Ello supone atractivas relaciones volumen muro / volumen embalse. Esencialmente, se trata de rocas cuyas propiedades geotécnicas, garantizarían el desarrollo de efectivas y seguras estructuras de apoyo (estribos) para el muro del embalse.

En el sector, el fondo de la quebrada Umirpa se presenta, de seguro, rellena con un espesor desconocido de sedimentos de tipo fluvial a fluvioaluvial; incluirían una secuencia maciza a pobremente estratificada de materiales granulares inconsolidados, con predominio de gravas, gravillas y arenas muy gruesas, con escasos finos cohesivos; los elementos clásticos corresponderían a fracciones heterocomposicionales: graníticos, volcánicos, volcanoclásticos y sedimentarios, muy bien redondeados, inalterados, muy resistentes.

Es posible, pero poco probable, que durante las excavaciones preparatorias de las fundaciones del muro, se detecte la presencia de sedimentos finos, (intercalaciones lenticulares), compresibles, en situación de limitar su carácter y comportamiento geotécnico global.

Por otro lado, la selección de una presa de hormigón rodillado permitiría la incorporación del vertedero, (libre o de compuertas) en su propio cuerpo.

La necesidad de incluir, una estructura destinada a la segura evacuación de las aguas en crecida de la quebrada, durante la fase constructiva del muro, supone un túnel de corto desarrollo, excavado en basamento rocoso geomecánicamente competente, (por tanto

con bajas demandas de fortificación y revestimiento), que participaría de su apoyo derecho; ello, sin desatender la alternativa de concentrar las faenas constructivas de la sección basal del muro, durante el período de estiaje de la quebrada, recurriendo a sucesivos encauzamientos mediante la instalación de pequeñas ataguías temporales.

Los materiales granulares y áridos destinados a satisfacer las demandas constructivas del Proyecto en el sitio correspondiente a la AU-1, podrían provenir de extracciones, tratamientos y dosificaciones de depósitos granulares (ripios, gravas y arenas sueltas, "*limpias*" y "*bien lavadas*") que en torno al eje de la AU -1, participan del relleno del fondo de la quebrada Umirpa.

La zona de inundación del embalse, no ofrecería condiciones morfogeológicas que permitan suponer la posibilidad de generar problemas durante su vida operacional, especialmente de aquellos relacionados con el desarrollo de procesos de remoción en masa: desprendimientos, deslizamientos masivos.

b) Características Geotécnicas

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 tres sitios visitados, inicialmente se estima que el sitio 1 es el más favorable debido a la presencia de roca en ambas laderas y a lo estrecho de la angostura. En estos aspectos, los sitios 2 y 3 son menos favorables.

- En relación con la calidad de las laderas, se estima que el sitio 1 es el más favorable, ya que ambas corresponden a roca poco fracturada. El sitio 2 le sigue en este aspecto ya que presenta roca de similar calidad, pero cubierta con suelo y clastos. El sitio 3 es claramente el que presenta una menor calidad de las laderas, debido al tipo de roca, su fracturamiento y espesor de la cubierta de suelo sobre la roca.

- Respecto al suelo de fundación, en todos los sitios se observó grava arenosa fluvial. Sin embargo, se estima que en el sitio 1 su espesor debería ser el menor de todos. En este aspecto de calidad le sigue el sitio 2. El sitio 3 es el más desfavorable desde el punto de vista del suelo de fundación, ya que se estima un mayor espesor del fluvial y la probable existencia de estratos de suelo fino.

- Ninguno de los sitios visitados provoca interferencias con áreas pobladas o de cultivo. Sólo se deberá considerar reubicar dos o tres casas que quedaría en la zona inundada y construir alternativas de caminos de tierra para aquellos que queden ubicados dentro del vaso 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

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

roca y la longitud del canal de evacuación, el sitio más favorable es el 1 sobre todo si se proyecta una presa RCC, siguiéndole en orden los sitios 2 y 3.

- Finalmente, en lo relativo a calidad y disponibilidad de material para construir la presa, no existe claramente una preferencia en ninguno de los sitios reconocidos, ya que en todos los casos se podrá obtener material desde el lecho del río .

- De acuerdo con lo expuesto, se estima que las alternativas de sitio de presa más favorables son la 1 y la 2 en ese orden.

Para fines de estimar volúmenes de presa, se recomienda lo siguiente para una presa de altura aproximada 40 m:

Presas CFRD ó 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: 6 m.

5.11.2.4. Características Productivas de la 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. No se han observado terrenos agrícolas ni comunidades en las zonas de inundación por lo que esta característica sería igual para las tres alternativas de muro.

5.11.2.5. 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, todas las alternativas de sitio de embalse no presentan áreas de riego aguas arriba de ellas, por lo tanto son equivalentes.

5.11.2.6. 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 1 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, por lo que tendría una menor pérdida por conceptos de transporte.

5.11.2.7. Evaporación

La zona Altiplánica de la región de Arica 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 Umirpa no se cuenta con registros de evaporación pero si se dispone de los datos medidos en la zona de Camiña, localidad ubicada en la zona altiplánica a unos 60 Km del sector de embalses. En el Cuadro 5.11.2.7-1 se muestra la evaporación anual promedio de la zona de Camiña.

CUADRO 5.11.2.7-1
TASA DE EVAPORACIÓN ANUAL EMBALSE UMIÑA – CAMIÑA (mm/mes)

OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
207,6	222	231	216,4	208,7	200,9	177,9	162	155,3	155,1	168,9	186,7	2292,50

Fuente: Elaboración propia

Considerando que las tasas de evaporación en Camiña son representativas del sector de Umirpa, se estimó el volumen evaporado para cada una de las alternativas.

Se observa que las tasas más altas de evaporación ocurren en los meses de verano. La cantidad de agua evaporada depende de la superficie expuesta a las radiaciones solares, esta superficie corresponde a todo el espejo de agua del embalse, el cual es variable al año, ya que el nivel aumenta o disminuye según el uso de éste. En los Cuadros 5.11.2.7-2 y 5.11.2.7-3 se muestra un promedio del área de las alternativas de embalse por escenario y la cantidad de agua que se evaporizaría anualmente. La alternativa 1 es la que posee un mayor espejo de agua, por lo tanto, mayor evaporación.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.11.2.7-2
TASA DE EVAPORACIÓN ANUAL POR ALTERNATIVAS DE EMBALSE – ESCENARIO 1

Alternativa	Altura umbral (m)	Área (ha)	Tasa de evaporación anual promedio (m³/año)
A1	17,5	124	1.989.890
A2	19,8	33	529.568
A3	22,6	23	369.093

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 5.11.2.7-3
TASA DE EVAPORACIÓN ANUAL POR ALTERNATIVAS DE EMBALSE – ESCENARIO 2

Alternativa	Altura umbral (m)	Área (ha)	Tasa de evaporación anual promedio (m³/año)
A1	21	177	2.840.408
A2	29,1	58	930.755
A3	34,4	47	754.233

Fuente: Elaboración propia

Existen varios métodos utilizados actualmente para disminuir la evaporación tal como se ha indicado en el Acápite 5.4.1. El más factible de utilizar en este tipo de obras sería aquél que ocupa productos químicos biodegradables y no contaminantes que se agregan al agua y forman una película por sobre la superficie del embalse.

Suponiendo un escenario en el cual la eficiencia sea cercana al 33%, esto quiere decir, que este producto podría rescatar un 33% de toda el agua que se evapora, se ha realizado un ejercicio práctico, con el fin, de definir la posibilidad de aplicar el método para reducir la tasa de evaporación del embalse proyectado. En los Cuadros 5.11.2.7-4 y 5.11.2.7-5 se observa la diferencia de la evaporación con y sin producto.

CUADRO 5.11.2.7-4
CONSERVACIÓN DE AGUA ANUAL Y COSTO DEL PRODUCTO – ESCENARIO 1

E1	ahorro (m³/año)	costo / año ($/año)
A1	663.297	87.386.933
A2	176.523	23.256.200
A3	123.031	16.208.867

Nota: Moneda Abril 2012

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 5.11.2.7-5
CONSERVACIÓN DE AGUA ANUAL Y COSTO DEL PRODUCTO – ESCENARIO 2

E2	ahorro (m³/año)	costo / año ($/año)
A1	946.803	124.737.800
A2	310.252	40.874.533
A3	251.411	33.122.467

Nota: Moneda Abril 2012
Fuente: Elaboración propia

Para saber la rentabilidad de este producto basta con comparar el beneficio que traería el volumen de agua conservado menos el costo por usarlo. Una hectárea de la zona de estudio tiene una rentabilidad anual cercana a los $2.000.000 con una tasa anual de riego de 0.6 l/s/ha.

En el Cuadro 5.11.2.7-6 se observa la rentabilidad para todos los escenarios y alternativas y en el Anexo 5-13, se presentan los cálculos y resultados del análisis.

CUADRO 5.11.2.7-6
CONSERVACIÓN DE AGUA ANUAL Y COSTO DEL PRODUCTO

Escenario	Alternativa	Beneficio ($)	Costo ($)	Rentabilidad anual ($)
E1	A1	70.808.065	87.386.933	-16.578.869
	A2	18.844.082	23.256.200	-4.412.118
	A3	13.133.754	16.208.867	-3.075.113
E2	A1	101.072.802	124.737.800	-23.664.998
	A2	33.119.901	40.874.533	-7.754.632
	A3	26.838.541	33.122.467	-6.283.926

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar la rentabilidad es negativa para todos los casos, esto se debe a los costos por efectos de compra y suministro del producto, además es necesaria la instalación de boyas especiales que van dejando caer el producto sobre el agua. La eficiencia del producto debería asegurar un 42% y desde ahí hacia arriba el producto podría ser factible.

El uso de productos químicos para disminuir la tasa la evaporación del embalse no presenta beneficios para ninguna de las alternativas propuestas, por ende no representa un factor relevante, y por tanto, en este ámbito son equivalentes. Además, dado los resultados

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

anteriores y a la incerteza de la eficiencia de este tipo de productos, como se indica en el Acápite 5.4.1, no se recomienda su uso.

Por último, es evidente que la alternativa 3 tiene un menor volumen de evaporación, le sigue el sitio 2 y luego viene el sitio 1 que evapora varias veces más que los otros dos sitios en cualquiera de los escenarios analizados..

5.11.2.8. 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, la alternativa 1 con la Ruta A-319 y las alternativas 2 y 3 con el camino hacia Itiza, tal como se indica en el Acápite 5.7.3. La diferencia radica en el largo de dichas interferencia, pues el sitio 1 presenta una variante de camino de 512 m, el sitio 2 una variante de 3 km. Y el sitio 3 una variante de 3,15 km. Claramente el impacto es menor en el sitio 1.

5.11.2.9. Calidad del Agua

Los análisis químicos realizados en el presente estudio indican que el bofedal ubicado entre los sitios 1 y 2, permite el decantamiento de algunos metales pesados y disminuye la cantidad de sales totales mejorando la calidad del agua. A pesar de esto, los registros de estudios anteriores en la zona alta de riego, indican que existe una disminución de la calidad del agua entre los sitios de embalse y dicha zona de riego. Por lo tanto, no existirían diferencias en este factor.

5.11.2.10. Impactos Ambientales Asociados

Todo embalse crea impactos ambientales, tanto del recurso agua, transporte de sedimento y medio biótico, como también sitios arqueológicos que pudieran estar presentes, o de interés patrimonial de la nación, etc. En el presente estudio, el informe arqueológico revela la existencia de sitios de interés patrimonial asociado al sitio de la Alternativa 3, por lo que se declara dicho sitio como el menos recomendable si se considera únicamente el componente arqueológico. No obstante el EAA, al considerar todos los componentes relevantes del medio físico y biótico y humano (incluyendo el arqueológico), se inclina en su indicador global (ver Capítulo 5.10) y desde una perspectiva integradora, por recomendar en primer lugar a la Alternativa 2, seguida de la 3 y finalmente y la menos recomendable, desde la perspectiva ambiental, a la Alternativa 1. Dicha inclinación está dada principalmente por los componentes del medio biótico ya que en la Alternativa 1 se inundaría un ecosistema con características propias de un bofedal (ecosistema sensible y de gran valor ecológico),

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

además de un hábitat particular de roqueríos en la zona del muro que alberga especies en peligro de extinción y vulnerables como lo son la Vizcacha y la Llareta, respectivamente.

5.11.2.11. 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. La accesibilidad debe considerar también la facilidad de movimientos desde y hacia el área de las faenas, así como la ubicación de los empréstitos: se trata que las distancias de traslado sean lo menores posible y que ojalá el traslado de materiales se realice a favor de la pendiente en el valle, o sea, que los materiales se extraigan de aguas arriba de la presa.

En el caso de este estudio las tres alternativas tienen muy buen acceso, sin embargo, el sitio 1 contempla la construcción de un camino de acceso aguas abajo del muro, ya que no existiría accesibilidad después de construir la obra, por tanto, los sitios 2 y 3 tienen ventaja en este punto.

5.11.2.12. 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, el volumen embalsado mayor bajo los dos escenarios es la alterativa 1, sin embargo, es la que presenta el menor tamaño de muro, por sus características morfológicas. La alternativa que tiene un mayor tamaño de obras es la alternativa 3, seguido de la alternativa 2.

5.11.2.13. 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 inundación de las alternativas de embalse, sólo se consideró el escenario dos, pues contempla un costo mayor por expropiaciones que el escenario 1. En el Cuadro 5.11.2.13-1 se presentan las superficies a expropiar por sitio de embalse.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 5.11.2.13-1
SUPERFICIE ESTIMADA A EXPROPIAR

Sitio	Área Inundación (ha)	Obras Muro (ha)	Caminos (ha)	Total (ha)
1	192,49	0,39	2,12	195,00
2	66,52	3,80	3,00	73,32
3	65,90	2,80	3,15	71,84

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, 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 Abril de 2012 se obtuvo un valor de 4.726.695 $/ha. Finalmente, se aproximó a 4.800.000 $/ha, el cual se consideró como valor final. En el Cuadro 5.11.2.13-2 se presenta el costo por expropiación para los tres sitios.

CUADRO 5.11.2.13-2
COSTO POR EXPROPIACIÓN DE TERRENOS

Sitio	Costo por expropiación de terrenos ($)
1	935.985.120
2	351.913.440
3	344.827.680

Nota: UF al 1/4/2012 es igual a $22.536,41
Fuente: Elaboración propia

Claramente, los costos por expropiar son mayores para el sitio 1, los costos en los otros dos sitios son similares.

5.11.2.14. 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 2 y 3 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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Por su parte, la alternativa 1 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.

5.11.2.15. 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.

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. Además, como la napa está alrededor de los 2 metros de profundidad en los sectores donde se contempla extraer el material de construcción, se necesita realizar el proceso de secado de la grava para obtener la humedad óptima de construcción. Esta condición encarece y prolonga las faenas mientras mayor sea el volumen requerido.
- 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.

5.11.2.16. Altura del Muro

Este factor no debiera ser relevante si se considera que todas las presas deben quedar diseñadas y construidas con igual seguridad, pero es cierto que una presa de mayor altura genera mayor desconfianza en los habitantes de más abajo, por lo que se da primera prioridad a la Alternativa 1 (19,5 o 23 m de altura según escenario), segunda a la Alternativa 2 (23 o 32 m de altura) y tercera prioridad a la alternativa 3 (26 o 37 m de altura).

5.11.2.17. Situación Legal

No existen diferencias entre las tres alternativas desde un punto de vista legal.

5.11.2.18. Generación Hidroeléctrica

En términos de la generación eléctrica, la alternativa 1 tendría un mayor caudal disponible para la generación pero menores alturas de caída para ambos escenarios y viceversa para las otras dos alternativas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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.

5.11.2.19. 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 1, ya que capta las aguas del total de la cuenca de cabecera.

5.11.2.20. Mejoramientos y Nuevos Trazados de Canales

En este punto, no existen diferencias para los tres sitios de embalse.

5.11.2.21. Resumen

Los aspectos cualitativos mencionados anteriormente han permitido elaborar un cuadro de prioridades entre alternativas que se resume en el Cuadro 5.11.2.21-1, y que entrega en términos globales la primera prioridad a la Alternativa 1. Donde se le asignan valores del 1 al 3 considerando 1 como la mejor alternativa y 3 como la peor alternativa.

CUADRO 5.11.2.21-1
COMPARACIÓN CUALITATIVA DE DIFERENTES ASPECTOS

PARÁMETRO	ALT. 1	ALT.2	ALT. 3
Tipo de presa	1	2	2
Relación Agua/Muro	1	2	3
Características Geológicas	1	2	3
Características Geotécnicas	1	2	3
Características productivas zona a inundar	1	1	1
Ubicación con respecto a la zona de riego	1	1	1
Ubicación con respecto a los recursos de agua	1	2	2
Evaporación	3	2	1
Cantidad y características de las interferencias	1	2	2
Calidad del Agua	1	1	1
Impactos ambientales asociados	3	1	2
Accesibilidad	2	1	1
Tamaño del proyecto	1	2	3
Costos de expropiaciones	2	1	1
Facilidades para el diseño de las obras de arte	1	2	2
Facilidades constructivas	1	2	2
Altura del muro	1	2	3
Situación legal	1	1	1
Generación hidroeléctrica	1	1	1
Regulación de Crecidas	1	2	2
Mejoramientos y nuevos trazados de Canales	1	1	1
Total	27	33	38

Fuente: Elaboración propia

5.11.3. Costos Totales

Los Cuadros 5.11.3-1 y 5.11.3-2 muestran los costos por alternativa de proyecto en los escenarios planteados, incluyendo costos por expropiaciones y costos ambientales. Cabe destacar que para el escenario 2 sólo se consideró la conducción Ofragía-Chaca más económica.

CUADRO 5.11.3-1
COSTOS TOTALES ESCENARIO 1

Ítem	Alternativa 1 ($)	Alternativa 2 ($)	Alternativa 3 ($)
costo de las obras, gastos generales, contingencia	5.803.967.977	10.518.589.160	9.685.138.760
Expropiaciones	935.985.120	351.913.440	344.827.680
Costos Ambientales	522.357.118	425.652.595	470.321.630
Total	7.262.310.215	11.296.155.195	10.500.288.070

Nota: Moneda Abril 2012
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 5.11.3-2
COSTOS TOTALES ESCENARIO 2

Ítem	Alternativa 1 ($)	Alternativa 2 ($)	Alternativa 3 ($)
costo de las obras, gastos generales, contingencia	11.337.079.315	19.360.758.814	18.131.205.961
Expropiaciones	935.985.120	351.913.440	344.827.680
Costos Ambientales	906.966.345	708.310.381	769.497.675
Total	13.180.030.780	20.420.982.635	19.245.531.316

Nota: Moneda Abril 2012
Fuente: Elaboración propia

5.11.4. 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. Para complementar dicho análisis, se evaluaron dos diferentes escenarios de riego, con el fin de definir si la elección del mejor sitio era presa era sensible al variar el alcance de éste.

Bajo dichos criterios se obtuvieron las siguientes conclusiones:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

- En términos de costo, la alternativa 1 es la más conveniente en ambos escenarios, siendo alrededor de un 40% más económica que el resto. La alternativa más cara es la 3.

- En términos cualitativos, el análisis de diversos factores técnicos y legales señalan que la mejor alternativa es la 1 y que la peor es la alternativa 3.

- Las recomendaciones geológicas-geotécnicas recomiendan la alternativa 1 por sobre el resto, tanto por su morfología, calidad de la roca y alta probabilidad de encontrar formaciones rocosas a pocos metros del lecho fluvial.

- El espejo de agua de la tasa de acumulación de la alternativa 1 es la mayor, y por ende, presenta una mayor evaporación que las alternativas 1 y 2, sin embargo, sigue siendo la más económica aunque el volumen acumulado es el mayor de las alternativas en los dos escenarios. Se descarta el uso de algún tipo de tecnología para la reducción de la evaporación por su alto costo y poca certeza de buenos resultados.

- No se considera necesario el trazado de nuevos canales en la zona alta y baja del valle, ya que bajo las condiciones analizadas en la presente etapa basta con el mejoramiento de la capacidad de algunos pocos canales para satisfacer los L/s otorgados por derechos, los cuales son mucho mayores a la actual demanda de riego.

- Se debe definir la factibilidad de desarrollar la conducción Ofragía – Chaca por su alto costo de construcción, estimado en 132.000 UF.

- La ubicación geográfica de la alternativa 1 le permite la recolección total de los recursos hídricos de la cuenca de cabecera del río Codpa, y por ende, tiene mayor potencial como regulador de crecidas. Sin embargo, de acuerdo a los antecedentes recopilados la recarga subterránea del sector de Chaca se realizaría por la producción hídrica de la zona alta del valle, por tanto, la construcción de una barrera en dicho punto, tendría consecuencias directas en el acuífero de Chaca. Este efecto se atenuaría en el caso de las alternativas 2 y 3, puesto que se encuentran aguas arriba de la quebrada principal que descarga en la pampa Umirpa.

- En términos de superficie beneficiada, no hay diferencia entre las alternativas de sitio de embalse pero si entre los escenarios considerados. En el escenario 1 se beneficiarían 130 ha, mientras que en el escenario 2 el número alcanza las 246 ha.

- Desde la perspectiva del impacto ambiental, la Alternativa 3 resulta ser la más favorable, y es por lo tanto, la primera recomendación seguido de la Alternativa 2 y en último lugar la Alternativa 1, la cual resulta ser la menos recomendable. En la eventualidad de resultar seleccionada la Alternativa 1 por otros criterios técnicos y económicos, se hace prioritaria la ejecución de

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

planes de mitigación, y un estricto manejo y seguimiento ambiental con el fin de minimizar aquellos impactos que no puedan ser evitados.

- De acuerdo a la información obtenida de los sondajes, la Alternativa 3 está absolutamente descartada debido a la aparición de napas surgentes que desestabilizarán el muro por el arrastre de material.

- Se recomienda la alternativa 1 para las posteriores etapas de diseño y evaluación.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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. ESTUDIOS BÁSICOS SITIO SELECCIONADO

6.1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se incluyen los estudios básicos necesarios para la elaboración y obtención de la mejor alternativa de proyecto según lo presentado en el Capítulo 5.

Los estudios básicos incluidos en esta etapa son:

- Estudio Geológico
- Estudio Geotécnico
- Estudio Sedimentológico
- Estudio de Crecidas en Quebradas Laterales en Sector de Canales
- Estudio Geofísico

6.2. ESTUDIO GEOLÓGICO

6.2.1. Introducción

El presente acápite presenta los resultados del reconocimiento geológico de los terrenos comprometidos en el presente estudio "Proyecto de Construcción de un Embalse de Riego en Quebrada Umirpa", (*en adelante*: PCERU), ubicado en un segmentos del valle de la quebrada Umirpa, conocido como "Angostura Umirpa", comuna de Putre, Región de Arica y Parinacota. Ello, en el marco de un estudio asignado por la Comisión Nacional de Riesgo, del Ministerio de Agricultura.

En el Capítulo 5 se identificaron y analizaron 3 sitios alternativos para el emplazamiento de muros y sus respectivas estructuras anexas, cuyas ubicaciones se disponían a lo largo de un segmento de 6,3 km del valle de la quebrada Umirpa.

Dicho análisis, concluyó con la selección final del sitio de emplazamiento del muro del Proyecto, decisión centrada en la denominada "Angostura Umirpa". Se consideró una estructura del tipo RCC, a base de hormigón compactado mediante rodillo, con una altura de 20 a 23 m y una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 8,5 a 16,2 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 futuros estudios de diseño básico del muro y obras anexas del Proyecto.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Por su parte, la principal base referencial de respaldo geológico regional de la zona objeto del estudio, corresponde a un levantamiento escala 1:250.0000 efectuado por ***García, G., M,*** et al, (2004), complementado con fuentes alternativas correspondientes a: ***Salas, O, R,*** et al (1966); ***Riquelme*** (1998); ***Mortimer, C*** (1980); ***Salas, O.,R***, (1967 ¿?) y ***Niemeyer, H***, (1964)

6.2.2. Marco Geomorfológico General

El sector seleccionado para el emplazamiento de esta alternativa corresponde a un segmento de las cabeceras de la hoya hidrográfica de la quebrada Umirpa, provista de alimentación pluvio - nival, que manifiesta sus caudales máximos durante el denominado "invierno altiplánico" (meses de diciembre a febrero).

El sitio propuesto para el emplazamiento del muro de esta alternativa, conocido como "Angostura Umirpa", corresponde a un segmento donde la actual llanura de inundación de la quebrada, incorporara un conspicuo sinuoso desarrollo que incluye un quiebre en aproximadamente 90°, enmarcado entre empinadas paredes rocosas, con alturas medias de 55 a 60 m respecto del fondo de la quebrada y ancho basal de 40 a 42 m, Fotografía 6.2.3-1, en Plano **GEO-UM-01.** Inmediatamente aguas abajo del sitio seleccionado para el emplazamiento del muro del Proyecto, la quebrada Umirpa recibe el nombre de quebrada Vítor, cuyas aguas, tras un recorrido de aproximadamente 92 a 95 km, vierten en el Océano Pacifico, en el sector de Caleta Vítor.

En el sector, la prolongada actividad erosiva de tipo fluvial de la quebrada, ha modelado una sección transversal bastante simétrica, que en torno a su extremo S, alberga el actual cauce, bastante bien establecido de 2,5 a 3,0 m de ancho; ambos flancos del valle participan de empinadas paredes regulares, sub verticales, que culminan a alturas medias de 61 – 63 m, respecto del fondo de la quebrada. La llanura de inundación está rellenada con una secuencia granular maciza, fluvial a fluvioaluvial, integrada por sedimentos cuyas granulometrías se sitúan en el rango de gravas a gravas arenosas, correspondiente a una activa llanura de inundación.

La presencia de remantes mal conservados de terrazas marginales bajas o "nuevas", arenosas, de tipo fluvial a fluvioaluvial, está limitada a dos elongados segmentos del borde izquierdo de la actual llanura de inundación, ubicados inmediatamente aguas arriba del eje del muro y borde derecho, inmediatamente aguas abajo del eje del muro, Plano **GEO-UM-01**. En ambos casos, se trata de estructuras llanas, bastante inestables, con alturas medias de 0,6 a 0,8 m, con escaso desarrollo de una discontinua cobertura vegetacional a base de pastos, hierbas y arbustos menores.

Solo puntualmente, las empinadas paredes rocosas que en el sector enmarcan los flancos de la angostura, incorporan leves discontinuidades morfológicas, concordantes con mal reservadas zonas de "*despegue*" o "*arranque*" de bloques

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

rocosos, genéticamente vinculados al efecto combinado de desprendimientos y/o deslizamientos, cuyos respectivos planos de ruptura aparecen determinantemente controlados por sistemáticos patrones locales de fracturamiento.

6.2.3. Marco Geológico

El reciente reconocimiento directo del sector, permitió establecer que el sitio seleccionado para el emplazamiento del muro del PCERU, concordante con la denominada "Angostura Umirpa", está constituido por una potente secuencia petrográficamente muy regular de materiales volcánicos (andesitas porfídicas) y volcanoclásticos (brechas y brechas tobáceas), con tonalidades grisáceas, levemente rosadas.

La revisión de documentos referenciales, incluyendo información geológica básica de la zona, permite englobar los señalados materiales en la formación Macusa de ***García*** et al (2005), ***Mmsm***, en **Plano GEO-UM-01**. Esencialmente, se trata de una entidad geológica que participa de gran parte de la configuración geológica de las cabeceras francamente altiplánicas de la hoya hidrográfica de la quebrada Umirpa,

En el sector, la discontinua cobertura del basamento rocoso está constituido por bloques rocoso angulosos, de diversa forma y tamaño, densos, petrográficamente muy homogéneos, inalterados, muy resistentes, con aspecto "fresco", tipificados como escombreras de laderas de cerro, ***Qe***, en **Plano GEO-UM-01**; esencialmente, se trata de acopios relativamente estables de materiales fragmentarios originados por remociones en masa del tipo desprendimientos, gatillados por solicitaciones sísmicas y/o episodios pluviales de intensidad extrema, controlados por persistentes planos locales de fracturamiento.

En el entorno inmediato al sitio de emplazamiento del eje del muro del PCERU, sólo a partir del pié de algunos segmentos de ambos flancos del fondo de la quebrada Umirpa, prevalecen discontinuos remanentes mal conservados de terrazas marginales bajas o "nuevas", ***Qfab*** en Fotografía 6.2.3-1 en Plano **SON – O1**; en superficie, demuestran una franca apariencia fluvial, integradas por depósitos macizos de arenas medias a gruesas, con tonalidades grisáceas, con moderado a bajo grado de compacidad; los bordes de estas terrazas se observan fuertemente erosionados, producto de recientes flujos torrenciales, gatillados por episodios pluviales de intensidad extrema (mes de febrero del presente año, en el marco del denominado "*invierno boliviano*"). Configuran elongadas franjas de terrenos llanos, que rematan a alturas medias de 0,6 a 0,8 m sobre el nivel medio de aguas en el cauce de la quebrada Umirpa, claramente asociados a la acción de antecesores geológicamente recientes y no muy diferentes en cuanto al emplazamiento, del actual cauce de la quebrada en el sector.

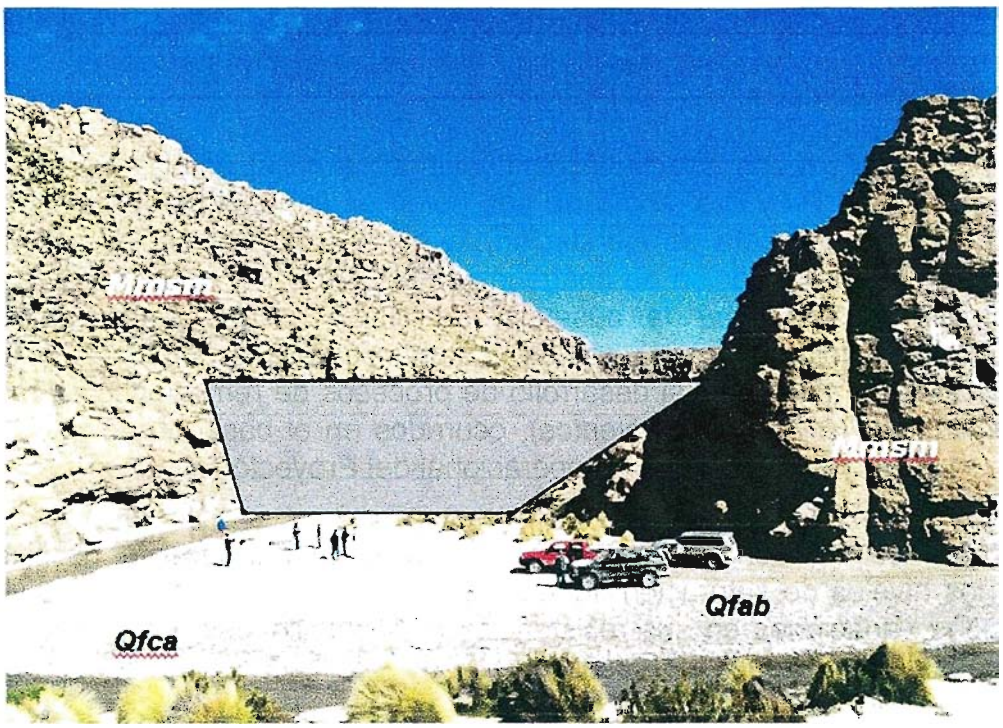
La totalidad de los materiales sedimentarios granulares de tipo fluvial a fluvioaluvial, que participan del relleno del fondo de la activa llanura de inundación de la

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

quebrada Umirpa, están integrados por una secuencia maciza a pobremente estratificada de ripios, gravas, gravas arenosas, gravillas y arenas, bien redondeadas, con escasos finos cohesivos, ***Qfca***, en Fotografía 6.2.3-1, en Plano **GEO-01**. Los depósitos, en general bastante bien "*lavados*" y seleccionados, incluyen elementos clásticos heterocomposicionales, (andesitas, dacitas, granitoides, brechas y tobas), bastante densos, inalterados, muy resistentes.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

FOTOGRAFÍA 6.2.3-1
VISTA FRONTAL DEL MURO



Mirando hacia aguas abajo, sector Angostura Umirpa. Eje de muro del Proyecto.
Ambos apoyos comprometen empinadas paredes rocosas volcánicas a volcanoclásticas de la formación Macusa.
Mmsm; Qfab = Depósitos fluviales a fluvioaluviales de terraza marginales bajas
Qfca = Depósitos fluviales del actual cauce de la quebrada Umirpa.

Mientras tanto, la reciente ejecución de 3 sondajes a lo largo del eje del muro seleccionado del PCERU, Plano GEO-01, permitió establecer que el relleno sedimentario de la llanura de inundación en el sector, con un espesor medio de 4,2 m, sobreyacente a basamento rocosos de la formación Mancusa, ***Mmsm***, está integrado por una secuencia maciza de " *Gravas arenosas algo limosas, color grisáceo, humedad media, compacidad media a alta. Gravas de cantos redondeados a subredondeados, tamaño máximo de 2 a 4 pulgadas...*" (***GEOROTACION***, Junio, 2012).

Se asume que la mayor parte del relleno sedimentario granular del actual fondo de la quebrada Umirpa, derivaría de la erosión y redepositación de acumulaciones pleistocénicas glaciarias, originalmente radicadas en los flancos de empinadas laderas volcánicas, francamente altiplánicas.

La favorable regularidad composicional y granulométrica de los depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales que rellenan el fondo de la actual llanura de inundación en el sector, les otorga un atractivo potencial como fuente para el efectivo suministro de materiales de empréstito, tanto para la preparación de rellenos, terraplenes y carpetas de rodado, como áridos destinados a la preparación de

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

hormigones; sus elevadas ripabilidades, determinan que las extracciones son posibles mediante el simple empleo de equipo mecanizado (cargadores frontales, motoniveladoras, bulldozers).

6.2.4. Riesgos Geológicos

Tanto en los terrenos directamente involucrados en el emplazamiento del muro y obras anexas del Proyecto, como en sus entornos inmediatos, incluyendo la totalidad de su respectiva cubeta de inundación, la revisión directa de los terrenos, complementada con la interpretación de imágenes satelitales e información geológica referencial, permitieron establecer la ausencia de claros rasgos estructurales y morfológicos, (grietas, deformaciones, estrías, coronamientos, escarpes y lóbulos frontales) genéticamente atribuibles al desarrollo de procesos de remociones en masa (reptaciones lentas, solifluxión, deslizamientos), ocurridos en el pasado geológico, en situación de ser reactivados durante la vida operacional del Proyecto.

Conocido es el hecho de que, en ocasiones, la permanente oscilación operacional en los niveles de saturación de los terrenos objeto de inundación, suelen desarrollar grandes variaciones en sus resistencias e inestabilidades, en condiciones de gatillar procesos de remociones en masa.

Preliminarmente, el bajo a nulo nivel de riesgos geológicos vinculados a procesos locales de remociones en masa, se hace extensivo a la actividad volcánica, centrada en algunos centros emisores radicados en la alta cordillera altiplánica: volcanes Pomerape, Tarapacá, Parinacota y Guallatire; esencialmente, se trata de centros emisores, con escasos registros de actividad histórica.

6.2.5. Materiales de Empréstito

Preliminarmente, se estima que la totalidad de las futuras demandas de materiales de empréstito y áridos, destinados a satisfacer las demandas constructivas del PCERU, podrían ser satisfechas, en términos de calidad (estabilidad física y química) y cantidad, (volumen o "reservas") mediante extracciones selectivas y tratamientos (cribado, eliminación de eventuales fracciones arcillosas orgánicas solubles y dosificaciones) a partir de depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales, ***Qfca*** y ***Qfab***, en Plano **GEO-01**, que, en torno al sitio de emplazamiento del muro, participan del relleno mayoritario del fondo de la quebrada Umirpa. En este caso, las extracciones se deberían concentrar en torno a una zona de la llanura de inundación ubicada a aproximadamente 200 a 250 m aguas arriba del eje del muro, Plano **GEO-UM-01**.

Se asume que los materiales granulares clásticos primarios de las señaladas terrazas fluviales a fluvioaluviales locales, provendrían de las cabeceras de la hoya hidrográfica de la quebrada Umirpa, con predominio de rocas volcánicas. Las importantes distancias entre los puntos de origen o liberación inicial de los materiales y

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

los sitios de depositación en sus correspondientes segmentos inferiores de la quebrada Umirpa, junto con determinar el desarrollo de elementos muy bien redondeados, densos y resistentes, favorecerían la clasificación y selección de los depósitos. Concordante con ello, los depósitos incorporan elevadas concentraciones de fracciones gruesas, bolones, muy bien redondeados, altamente desgastados y con muy buena clasificación y selección. Mayoritariamente, se trata de los depósitos macizos, esto es, carentes de estratificación que, arealmente, presentan granulometrías bastante uniformes, libres de intercalaciones lenticulares finos cohesivas.

Por su origen y edad relativamente reciente, presentan bajo grado de compactación natural y excelente calidad física y química; por ello, suelen satisfacer a cabalidad las especificaciones más rigurosas para variados usos en proyectos ingenieriles.

La normal baja compactación de los materiales (alta ripabilidad) objeto de eventual explotación, junto con facilitar las faenas de extracción mediante el simple empleo de equipo mecanizado, (cargadores frontales) favorecería su posterior manipulación y tratamiento: extracción selectiva, carguío, transporte, tamizado o harnereo y dosificación.

Desde el punto de vista ambiental, las terrazas fluviales a fluvioaluviales constituyen sistemas relativamente lábiles (frágiles), cuya intervención por faenas de extracción de agregados para variados destinos, deben considerar la oportuna realización de estudios previos, destinados a identificar y cuantificar los impactos al medio físico o ecosistemas locales.

Referido a los áridos para la preparación de hormigones, se estima que podrían ser obtenidos a partir de:

- Trituración o chancado de las fracciones granulares, "*sobretamaño*", (> 4 a 6 pulgadas), tanto provenientes de yacimientos representados por depósitos fluviales a fluvioaluviales, con predominio de ripios, gravas y arenas gruesas, sueltas a pobremente litificadas, extraídas desde el actual relleno de la llanura de inundación de la quebrada Umirpa y,

- Trituración o chancado de materiales petrográficamente homogéneos, inalterados, densos y muy resistentes, correspondientes a rocas volcánicas (lavas andesíticas y dacíticas) y volcanoclásticas (brechas, aglomerados y brechas) incluidas en la formación Macusa, ***Mmsm***, en Plano **GEO-UM-01**, que en torno al sitio de emplazamiento del muro del PCERU, participan de los empinados flancos de la llanura de inundación de la quebrada Umirpa.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6.2.6. Características y Comportamientos Geotécnicos

En torno al sitio de emplazamiento del muro del PCERU, la revisión de ambas empinadas paredes rocosas, permitió establecer que los materiales del basamento rocoso local, se presentan recorridos por un regular patrón ortogonal de fracturamiento que, estimativamente, habría ejercido un determinante control estructural respecto del desarrollo de la actual geometría del eje de la quebrada en el sector.

En el entorno inmediato de la Angostura Umirpa, las rocas de la formación Macusa que participan de ambos empinados márgenes o flancos de la llanura de inundación de la quebrada, se disponen de acuerdo a una incipiente disposición subhorizantal. En un sector de la pared izquierda, el rumbo predominante de la secuencia volcánica a volcanoclástica es N, con inclinación de 5 a 8° E, Fotografía 6.2.6-1, en Plano **GEO-UM-01**.

El patrón estructural local está integrado por 3 sistemas dominantes a saber:

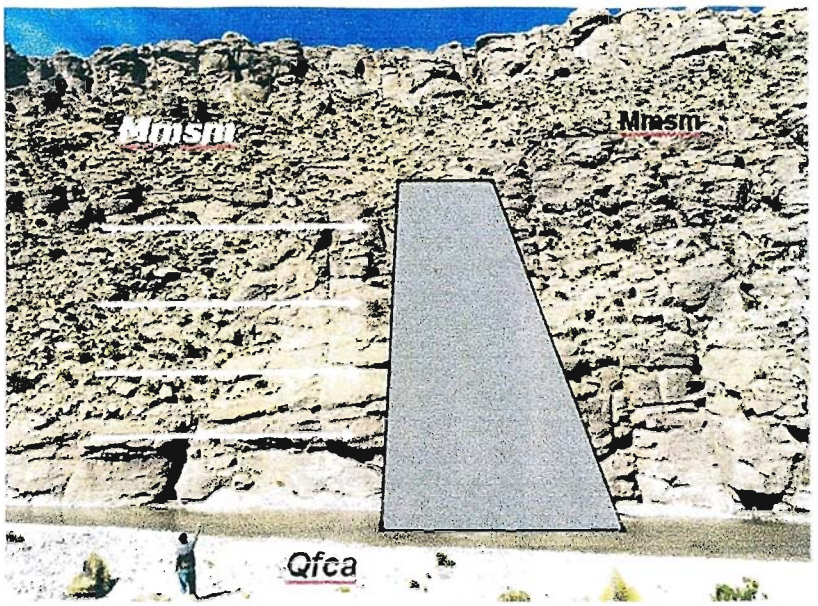
Dos sistemas principales, muy bien desarrollados, cuyos elementos se disponen de acuerdo a rumbos N – S y E - O, con actitud subvertical y uno secundario o de menor desarrollo, subhorizontal, Fotografías 6.2.6-1, 6.2.6-2, 6.2.6-3, 6.2.6-4 y 6.2.6-5, en Plano **GEO-UM-01**.

El sistema principal de fracturamiento subvertical está integrado por elementos rectilíneos, dispuestos a intervalos regulares de 1,8 a 2,0 m, mientras que en el sistema secundario de fracturamiento subhorizontal, los elementos se disponen de acuerdo a intervalos regulares de 0.4 a 0, 6 m, Fotografías 6.2.6-3 y 6.2.6-4, en Plano **GEO-UM-01**.

El sistema principal incluye elementos rectos, con corridas observables en el rango de 25 a 30 m; a nivel superficial, las estructuras incorporan rellenos de 1,5 a 2,0 cm, correspondientes a materiales seudolaminares arcillizados, cuya gradual remoción (por actividad erosiva vinculada al escurrimiento lineal de aguas superficiales), les otorga el carácter de verdaderas grietas "*abiertas*", Fotografía 6.2.6-3, en Plano **GEO-UM-01**.

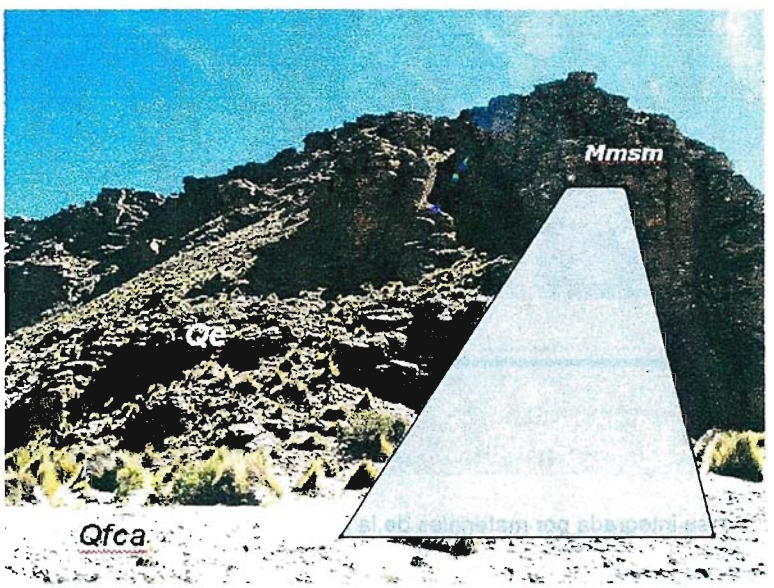
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FOTOGRAFÍA 6.2.6-1
APOYO IZQUIERDO DEL MURO



Apoyo o estribo izquierdo del muro. Empinada pared rocosa, estable, integrada por una secuencia volcánica a volcanoclástica de la formación Macusa, ***Mmsm***, bastante bien estratificada, subhorizontalmente, recorrida con un patrón regular de fracturamiento vertical, dispuesto de acuerdo a un rumbo dominante normal al cauce de la quebrada en el sector. ***Qfca*** = Depósitos fluviales a fluvioaluviales del actual cauce y relleno del fondo de la quebrada Umirpa.

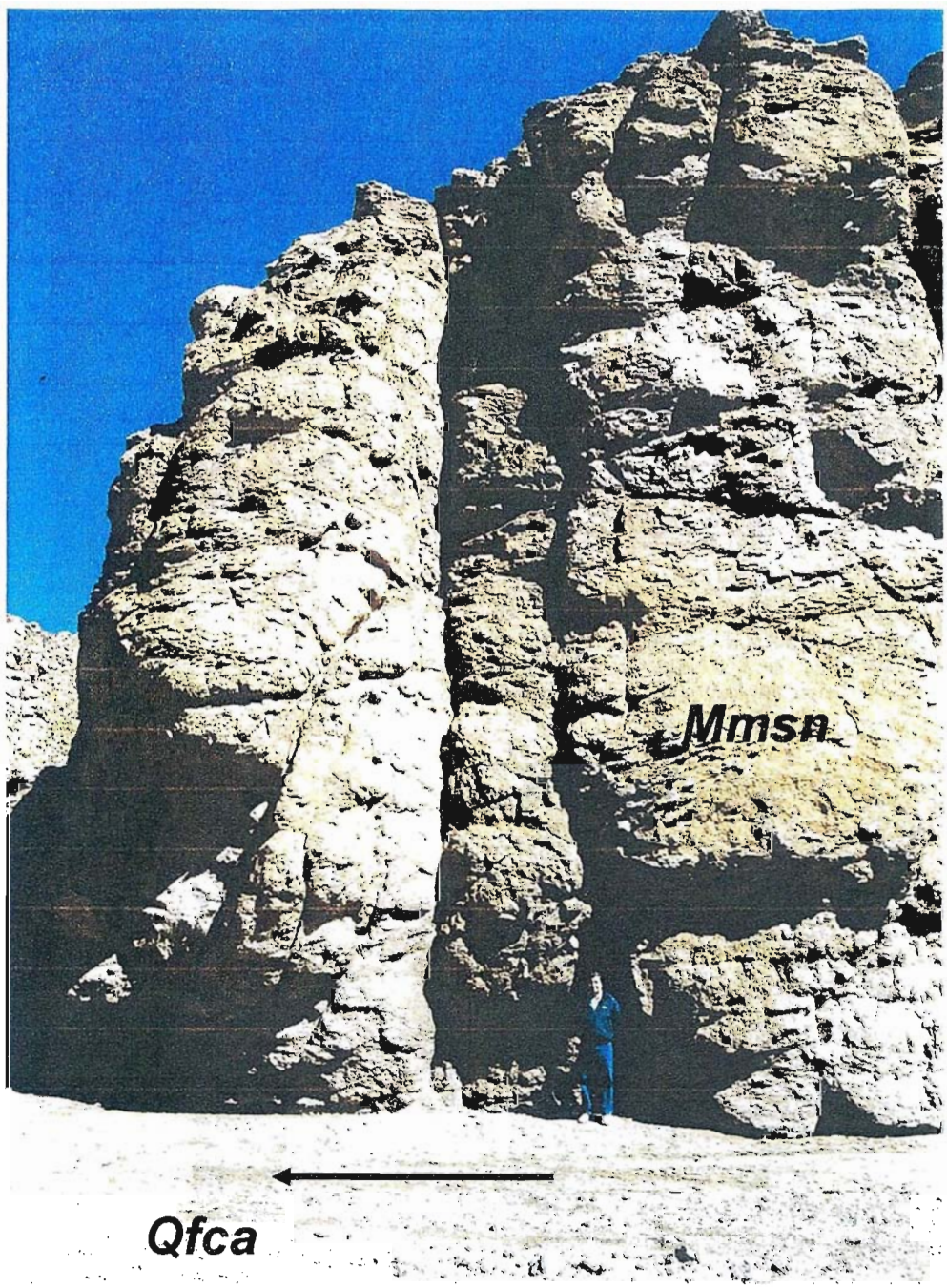
FOTOGRAFÍA 6.2.6-2
APOYO DERECHO DEL MURO



Apoyo o estribo derecho del muro. Discontínua pared rocosa integrada por rocas volcánicas a volcanoclasticas de la formación Macusa ***Mmsm;*** en el sector el patrón de fracturamiento local ha controlado el desarrollo puntual de inestabilidades, tipificadas como leves desprendimientos de pequeños bloques rocosos, que configuran delgados mantos de depósitos de escombreras de laS laderas de cerro, ***Qe***; ***Qfab*** = Remanente de terraza marginal baja de tipo fluvial a fluvioaluvial y ***Qfaca*** = Depósitos fluviales a fluvioaluviales del actual cauce de la quebrada Umirpa.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FOTOGRAFÍA 6.2.6-3
FORMACIÓN EMPINADA ROCOSA



Detalle de empinada rocosa integrada por materiales de la formación Macusa, ***Mmsm,*** ubicada inmediatamente aguas arriba del apoyo derecho del muro del Proyecto. En el sector el basamento rocoso se observa recorrido por un penetrativo y regular sistema de fracturas rectas, verticales, con rumbo subparalelo al eje del muro. Los planos de fracturamiento son muy irregulares, friccionantes. La aparente abertura de las fracturas, se vincula a efectos de erosión por escurrimiento concentrado de aguas lluvia, actuando sobre rellenos arcillosos blandos, desagregables.

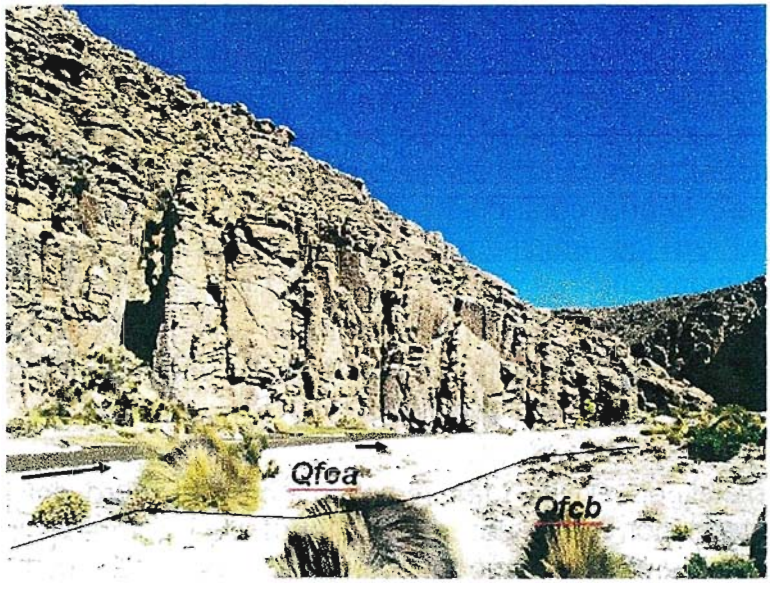
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FOTOGRAFÍA 6.2.6-4
PARED ROCOSA



Empinada pared rocosa, ubica inmediatamente aguas arriba del apoyo derecho del muro del Proyecto. Destaca penetrativo patrón regular de fracturas verticales, dispuestas normal y paralelamente al eje del muro. En zonas, han controlado el desarrollo de algunos desprendimientos gravitaciones o caídas de bloques cúbicos, equidimencionales; ***Qfca*** = Depósitos fluviales a fluvioaluviales granulares del actual cauce de la quebrada Umirpa.

FOTOGRAFÍA 6.2.6-5
VISTA DEL VALLE DESDE AGUAS ARRIBA

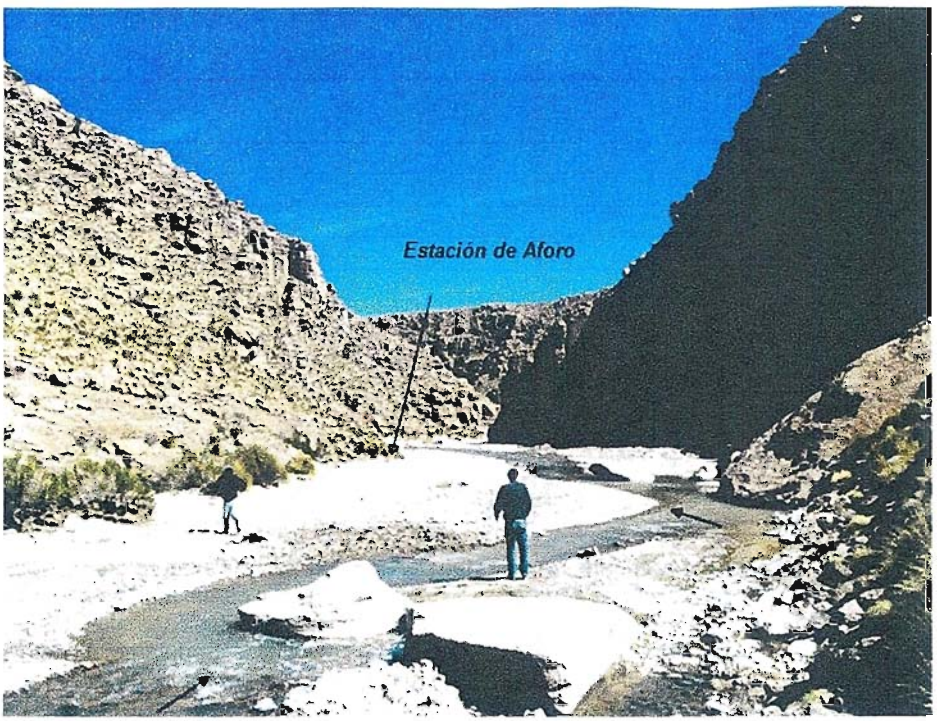


Empinadas paredes rocosas que, inmediatamente aguas abajo del muro del Proyecto, participan del margen izquierdo de la quebrada Umirpa. En el sector, el macizo rocoso se observa recorrido por fracturas rectas, verticales, dispuestas subverticalmente a intervalos medios de 0,6 a 8.0 m, con rumbo E – O, (normalmente al eje del muro). En extremo izquierdo se ubica sitio de emplazamiento de estación

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

de aforo, de reciente instalación, *EA*; (Mayor detalle en **Fotografía 6.2.6-6**). ***Qfab*** = Remanente de terraza marginal baja y ***Qfac*** = Depósitos del actual cauce de la quebrada.

FOTOGRAFÍA 6.2.6-6
VISTA DEL VALLE DESDE AGUAS ARRIBA



Mayor detalle de ubicación de estación de aforo, de reciente instalación.

La inspección, a nivel de detalle, permite establecer el compromiso de elementos estructurales que, en la medida del avance tanto en sentido lateral como en profundidad, tienden gradual y persistentemente al atenuamiento en continuidad, densidad, largo o corrida, abertura y relleno. Se asume que este carácter estructural, junto con ejercer un determinante control espacial respecto del actual modelado local de la "Angostura Umirpa", habría contribuido al desarrollo de una actual favorable condición de estabilidad en las empinadas paredes rocosas que, en el sector, enmarcan la llanura de inundación.

Tanto en la zona objeto del estudio, como en su entorno inmediato, no se reconoce la presencia de estructuras del tipo falla.

A nivel superficial, en el sitio de emplazamiento del muro del PCERU, el basamento rocoso integrado por materiales del tipo andesitas porfídicas a andesitas brechosas, se observa regularmente homogéneo, denso, inalterado, resistente; este carácter permite asignarles, cualitativamente, los siguientes parámetros geomecánicos, (tomados de ***González de* Vallejo**, 2003):

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 6.2.6-1
PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA ZONA

Densidad	Resistencia a la compresión	Cohesión	Angulo de fricción interna
(gr/cm³)	(kg/cm²)	c (kg/cm²)	° (grados)
2,2 - 3,5	2.100 - 3.200	280	45

Fuente: Elaboración Propia

Importa consignar que la reciente ejecución de 3 sondajes dispuestos a lo largo del eje del muro del PCERU, detectó la presencia de rocas volcánicas (andesitas) a volcanoclásticas (andesitas brechosas) de la formación Mancusa, ***Mmsm***, en Plano **GEO-01**, a profundidades medias de 4,2 m, con un muy buen carácter geotécnico: RQD medio de 95 a 98%.

El favorable carácter geotécnico y consiguiente baja a nula ripabilidad de los materiales que participan del basamento rocoso local, determina que la totalidad de las excavaciones involucradas en la preparación de las fundaciones del muro y obras anexas del Proyecto, deberán ser efectuadas recurriendo a procedimientos de tronaduras, Fotografías 6.2.3-1, 6.2.6-1 y 6.2.6-2, en Plano **GEO-UM-01**.

Las favorables características geomecánicas del basamento rocoso, determinan que las excavaciones puedan incorporar taludes aceptablemente estables del tipo 1:4 a 1:5 (H:V). Las demandas de fortificación o refuerzo, mediante la instalación de pernos de anclaje, mallas metálicas electrosoldadas y/o capas de hormigón proyectado, se limitarían a zonas puntuales, con mayor desarrollo de fracturas.

En el sector de la Angostura, el fondo de la quebrada presenta escaso relleno sedimentario de tipo granular, (espesor medio de 4,2 m), propio de un prolongado transporte fluvial a fluvioauvial, integrado por una secuencia maciza a pobremente estratificada, tipificada por mezclas de ripios, gravas, gravillas y arenas muy gruesas, con escasos finos cohesivos, ***Qfca*** y ***Qfab***, en Plano **GEO-UM-01**.

Los elementos clásticos, heterocomposicionales (graníticos, volcánicos, volcanoclásticos) demuestran buen redondeamiento, densos, inalterados, muy resistentes.

En la zona de emplazamiento del eje del muro del PCERU, las pruebas de infiltración realizadas en 3 sondajes de reconocimiento, comprometiendo materiales sedimentarios que participarán de sus cimientos, dieron valores de 4 a 6 Lugeon en el rango de 10^{-4} - 10^{-6} cm/s.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El perfil transversal por el eje del muro del Proyecto, incluido en el Plano **GEO-UM-01**, da cuenta de la regular configuración del basamento rocoso y del escaso espesor y carácter granular de la secuencia sedimentaria maciza que participa del relleno del fondo del valle en el sector; esencialmente, se trata de materiales del tipo…" *gravas arenosas, algo limosas, con humedad media y compacidad media a alta, junto a gravas de cantos redondeados con tamaños máximos de 2 a 4 pulgadas..*" **GEOROTACION,** Junio, 2012).

En el sitio seleccionado para el emplazamiento del muro del PCERU, la configuración morfológica de la sección transversal de la quebrada Umirpa, junto al compromiso de un macizo rocoso petrográficamente homogéneo y geomecánicamente competente, RQD medio de 93 a 95%, determinó la elección final y diseño de un muro del tipo RCC, hormigón compactado mediante rodillo. Esencialmente, se trataría de una estructura bastante esbelta, en situación de transmitir una alta concentración de cargas y empujes hidrostáticos hacia sus cimentaciones y apoyos o estribos, conformados por materiales correspondientes a un basamento rocoso muy resistente, indeformable y estable.

Las favorables características morfológicas (topográficas) y comportamiento geotécnico de los materiales rocosos que participan de ambos apoyos o estribos del muro del tipo RCC, limitarían a un mínimo la eventual ejecución de excavaciones o tratamientos previos, destinados al efectivo *perfilado* de los planos de fundación y consiguientes tratamientos de sello o impermeabilización.

La favorable configuración morfológica y carácter geológico de los materiales que, a lo largo sección transversal de la llanura de inundación comprometida en las fundaciones del muro del Proyecto, unido a la tipología de presa adoptada, permite considerar como atractiva y factible la posibilidad de que, durante su fase constructiva se incorpore en su sección basal, una estructura de canal o ducto, destinada al seguro desvío y control temporal de las aguas del actual cauce de la quebrada Umirpa; se trata de una estructura que, posteriormente, quedará incorporada al cuerpo de la presa como un verdadero túnel falso y elemento funcional de desagüe y entrega directa de las aguas hacia los canales de distribución.

La tipología de muro RCC favorecería la localización y configuración de una estructura de vertedero, directamente incorporada a su cuerpo.

El comprobado escaso espesor de la secuencia sedimentaria granular que, a lo largo del eje del muro, participa del relleno del fondo del valle en el sector, limitaría los trabajo de preparación de sus fundaciones, a su remoción o escarificado total, destinado a exponer el basamento rocoso subyacente, geomecánicamente competente, estable e impermeable. Tratándose de un embalse de acumulación y regulación la señalada favorable condición morfogeológica y geotécnica del sector, no sólo garantizaría la estanqueidad del muro, sino que, complementariamente, la estabilidad, seguridad y continuidad operacional del Proyecto.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

6.2.7. Conclusiones

- En el entorno inmediato al sitio seleccionado para el emplazamiento del muro del PCERU, la configuración geomorfológica de la Angostura Umirpa, presenta una favorable y conveniente sección transversal, perfectamente enmarcada entre empinadas paredes estables de basamento rocoso expuesto, de tipo volcánico a volcanoclástico, geomecánicamente tipificado como competente, con RQD estimado de 93 a 95%; incluye materiales densos, inalterados, con un moderado grado de fracturamiento, por tanto, resistentes, con baja deformabilidad. Ello supone atractivas relaciones volumen muro / volumen embalse. Esencialmente, se trata de rocas cuyas propiedades geotécnicas, garantizarían el desarrollo de efectivas y seguras estructuras de apoyo (estribos) para el muro del embalse, del tipo RCC.

- En el sector, el fondo de la quebrada Umirpa se presenta, de seguro, relleno con un espesor medio de 4,2 m de sedimentos de tipo fluvial a fluvioaluvial; incluirían una secuencia maciza a pobremente estratificada de materiales granulares inconsolidados, con predominio de gravas, gravillas y arenas muy gruesas, con escasos finos cohesivos; los elementos clásticos corresponden a fracciones heterocomposicionales (graníticos, volcánicos, volcanoclásticos), muy bien redondeados, inalterados, muy resistentes. Los señalados materiales presentan una compacidad media a alta.

- Atendido el escaso espesor del relleno sedimentario granular que, a lo largo del eje el muro, participa de sus cimientos, determinaría que su efectivo su retiro, mediante un simple escarificado mecanizado, garantizaría su emplazamiento directo sobre basamento rocoso geomecánicamente competente, (RQD medio de 93 a 95%).

- La selección de una presa del tipo RCC, a base de hormigón rodillado compactado, permitiría la incorporación del vertedero, (libre o de compuertas) en su propio cuerpo.

- Los materiales granulares, áridos y enrocados destinados a satisfacer las demandas constructivas del Proyecto, podrían provenir de extracciones, tratamientos y dosificaciones a partir de depósitos granulares (ripios, gravas y arenas sueltas, "*limpias*" y "*bien lavadas*"), ***Qfca*** *y* ***Qfab*** y basamento rocoso de la formación Macusa, ***Mmsm***, en Plano **GEO-01,** que en el entorno inmediato al sitio de emplazamiento eje del muro, participan de los márgenes y relleno del fondo de la llanura de inundación de la quebrada Umirpa. La localización final y caracterización en términos de calidad (física y química) y cantidad (volumen disponible), de materiales de agregados, áridos y enrocados, estará supeditada a los resultados de una rigurosa campaña de exploración de sitios, mediante calicatas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- La zona de inundación del embalse, no ofrecería condiciones morfogeológicas que permitan suponer la posibilidad de generar problemas durante su vida operacional, especialmente de aquellos relacionados con el desarrollo de procesos de remoción en masa: desprendimientos y deslizamientos masivos.

- La señalada condición de riesgo, se hace extensiva a actividad volcánica, a partir de activos centros eruptivos distantes, emplazados en la cordillera altiplánica.

- De la complementación y análisis de la información referencial disponible correspondiente a aquella obtenida, tanto a partir del reciente reconocimiento directo de los terrenos comprometidos en el emplazamiento del muro y obras anexas del PCERU, como de los registros de los 3 sondajes efectuados a lo largo del eje del muro del Proyecto: ***surge el convencimiento de que, desde el punto de vista de su factibilidad geológica, geotécnica y de riesgos geológicos, no existen en las ubicaciones y trazados de dichas obras, limitaciones serias que dificulten el diseño final, su construcción, puesta en marcha y fase operativa. Conforme a ello, y de acuerdo a la actual conceptualización del Proyecto y conocimiento del ambiente geológico - geotécnico del entorno inmediato o zona de influencia directa, no se visualiza la necesidad de realizar ajustes o relocalizaciones de obras a terrenos alternativos disponibles.***

6.2.8. Referencias

- ***García, G., M; Gardeweg, P. M; Clavero, R., J.*** y **Herail**, *G*. 2004. Hoja Arica. Región de Tarapacá. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica; N°84; 150 p. Santiago.

- ***GEOROTACION.*** Junio, 2012. Registros de 3 sondajes dispuestos a lo largo del eje del muro del Proyecto Embalse Umirpa. Regiones de Arica - Parinascota.

- ***Gonzales de Vallejo, L., I.*** 2003. Ingeniería geológica. Editorial Prentice Hall; 715 p; Madrid.

- ***Mortimer, C.*** 1980. Drainage evolution in the Atacama Desert of Northernmost Chile. Revista Geológica de Chile. N°11; p. 3 – 28. Santiago.

- ***Niemeyer, H.*** 1964. Tranque Umirpa; 3p. (Informe inédito).

- **Salas O., R.** 1967. (¿?) Breve informe geológico preliminar de la zona "Cuevas de Umirpa" posible lugar construcción de un tranque para quebrada Vítor. Instituto de Investigaciones Geológicas; 6 p. Arica. (Informe inédito).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

6.3. ESTUDIO GEOTÉCNICO

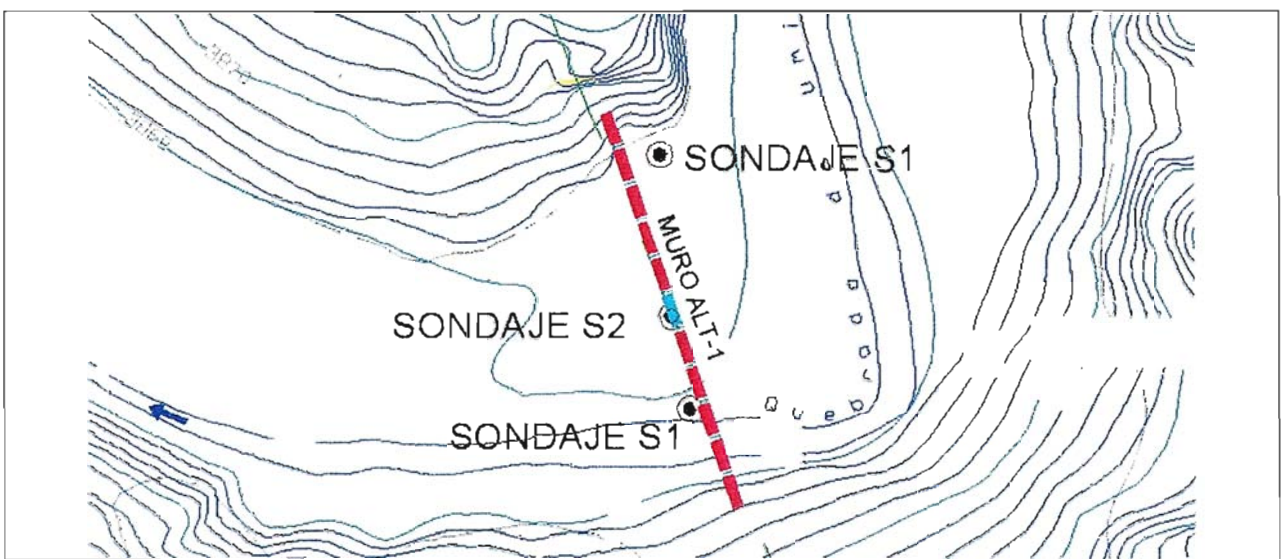
6.3.1. Introducción

El análisis se realizó con una recopilación de antecedentes geotécnicos del sector y del plan de prospección, el que consistió en la ejecución de 2 sondajes de 15 m y uno 20,5 m de profundidad ubicados en los estribos y centro del muro proyectado, respectivamente, además de la excavación de 6 pozos de exploración de aproximadamente 1,70 m de profundidad en el sector de emplazamiento del muro de la alternativa seleccionada. En el sector de yacimientos se excavaron 10 pozos de exploración de entre 1,0 m y 2,5 m de profundidad respecto de la superficie actual de terreno. Los pozos se identifican como CY-1 a CY-10. Estas calicatas se pueden encontrar en el **Plano CAL-UM-01**.

En la Figura 6.3.1-1 y 6.3.1-2, se muestra la ubicación de los sondajes y calicatas en el sector del muro respectivamente, luego, en la Figura 6.3.1-3, los pozos de yacimientos.

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 el laboratorio y terreno se han interpretado y procesado en el acápite 4.4, del Capítulo 4.

FIGURA 6.3.1-1
COORDENADAS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDAJES

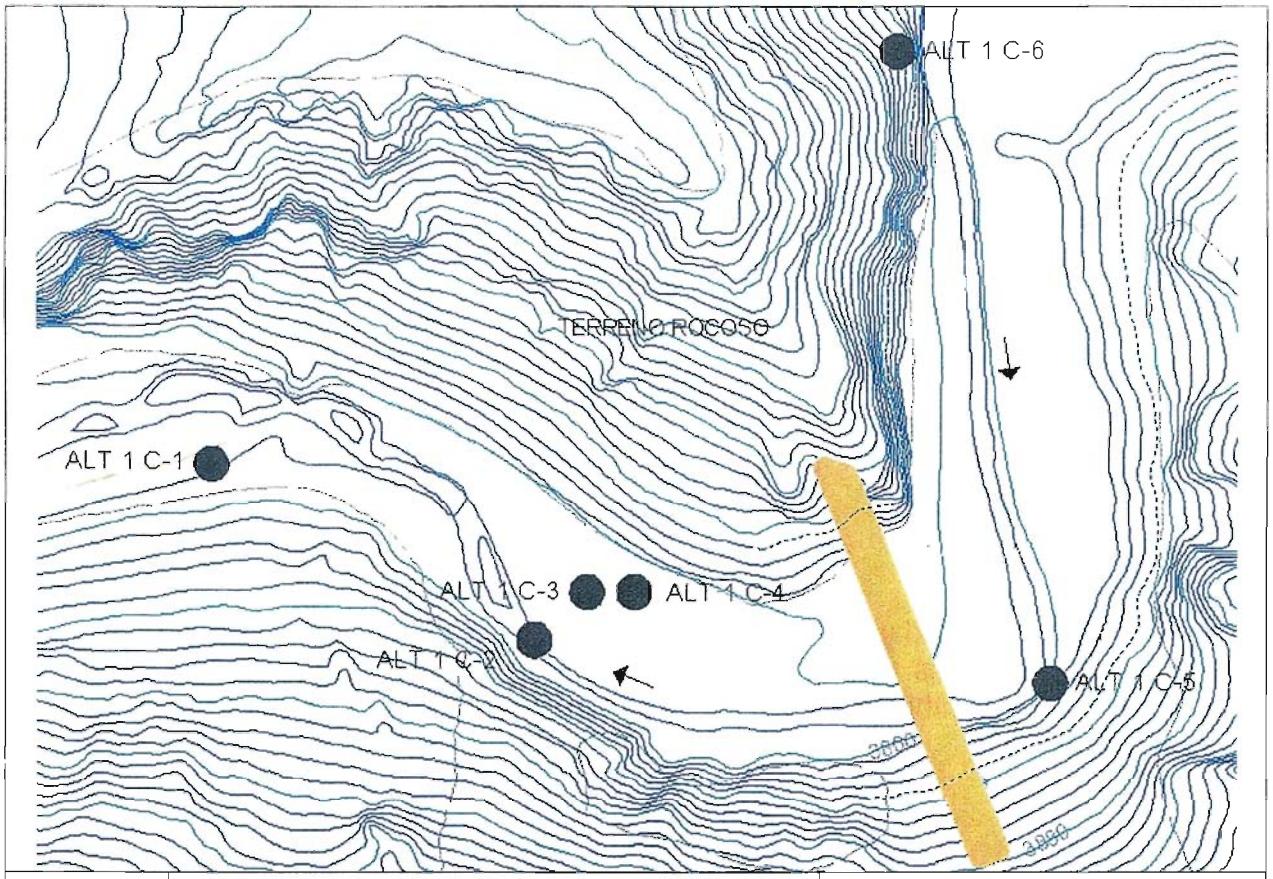


Alternativa	Sondaje	C. Norte (m)	C. Este (m)	Total perforado (m)	Perforado en roca (m)
1	S1	7.925.042	459.717	15,0	2,80 - 15,00
	S2	7.925.025	459.718	20,5	3,10 - 20,50
	S3	7.925.014	459.720	15,0	3,10 - 15,00

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

FIGURA 6.3.1-2
UBICACIÓN CALICATAS EN LA ZONA DEL MURO



Calicata	Coordenadas		Profundidad excavada (m)
	Norte	Este	
Alt 1 C-1	7.925.057	459.587	0,0-1,6
Alt 1 C-2	7.925.024	459.648	0,0-1,5
Alt 1 C-3	7.925.033	459.658	0,0-1,7
Alt 1 C-4	7.925.033	459.667	0,0-1,7
Alt 1 C-5	7.925.016	459.746	0,0-2,1
Alt 1 C-6	7.925.133	459.717	0,0-1,6

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 6.3.1-3
UBICACIÓN CALICATAS YACIMIENTOS



Calicata	Coordenadas		Profundidad excavada (m)
	Norte	Este	
CY - 1	7.925.299	460.474	0,0-2,0
CY - 2	7.925.297	460.319	0,0-1,2
CY - 3	7.925.317	460.698	0,0-1,7
CY - 4	7.925.210	461.045	0,0-1,2
CY - 5	7.925.408	461.215	0,0-1,6
CY - 6	7.925.887	461.877	0,0-1,0
CY - 7	7.927.939	463.299	0,0-1,5
CY - 8	7.928.111	463.806	0,0-2,0
CY - 9	7.929.164	465.072	0,0-2,0
CY - 10	7.929.721	462.742	0,0-2,5

Fuente: Elaboración Propia a partir de Imagen Google Earth

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6.3.2. Antecedentes Utilizados

- Certificado Preliminar de Sondajes. Proyecto Embalse Umirpa, región Arica Parinacota, junio de 2012.
- Estratigrafía de los pozos de exploración y resultados de los ensayes de laboratorio. Orden de Trabajo N°10405. Junio a Julio de 2012.
- Estudio Geofísico en Sectores del Proyecto Embalse Umirpa, región Arica Parinacota, Junio de 2012, SEGMI Manuel Araneda.
- United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation: "Diseño de Presas Pequeñas". Compañía Editorial Continental S.A. México. 1980.
- Gobierno Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad: "Manual de Carreteras 2012, Volumen 3, Instrucciones y Criterios de Diseño.

6.3.3. Propiedades del Suelo de Fundación

6.3.3.1. Antecedentes Geológicos

La zona donde se emplaza el proyecto corresponde a los cordones prealtiplánicos septentrionales conformados por cerros de altura comprendida entre 5.200 y 5.600 m.s.n.m. Estos cordones prealtiplánicos experimentan un intenso aniego por materiales del volcanismo terciario y del cuaternario antiguo y medio. El estompado (disolución de un relieve mayor en formas menores) que experimentan algunos sectores de estos cordones se debe a un más acusado efecto de sepultación por cenizas y detritos volcánicos. Estas cordilleras se caracterizan por el carácter volcánico de que están revestidas, anegadas en sus propios derrames lávicos, por la persistencia de la nieve y hielo en sus cumbres y por constituir un verdadero biombo climático para las masas de aire que provienen de la cuenca amazónica. Todo este sistema orográfico se comporta como un dispersor de aguas hacia Chile y Bolivia. La intensa meteorización de materiales superficiales, ha creado una cubierta detrítica sobre planos inclinados, con un tapiz más o menos denso de gravas y gravillas. Las cuencas intermontanas situadas entre los cordones prealtiplánicos están anegadas por materias piroclásticas y lávicas de carácter andesítico, basáltico y liparítico. Los valles y cursos de agua que descienden hacia la zona occidental se encuentran rellenos con espesores variables de sedimentos gravosos, arenosos y cenizas volcánicas, transportadas principalmente por las crecidas generadas por el llamado "invierno boliviano" que ocurre en los primeros meses del año.

6.3.3.2. Estratigrafía sector Muro

En el acápite 4.4 del Capítulo 4, se entregan las estratigrafías de los pozos de exploración y los resultados de los ensayes de laboratorio ejecutados. Los pozos de exploración excavados en el eje del muro, alcanzaron una profundidad media aproximada de 2,10 m, respecto de la superficie actual de terreno. Las muestras

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

analizadas, clasificaron principalmente en el sistema USCS como GP y GM, es decir corresponde a gravas pobremente graduadas y gravas limosas.

A partir de la exploración ejecutada y ensayes de laboratorio, se puede adoptar el siguiente modelo estratigráfico superficial para el área en estudio, indicado en el Cuadro 6.3.3.2-1.

CUADRO 6.3.3.2-1
MODELO ESTRATIGRÁFICO CALICATAS MURO

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 0,60	Arena fina algo limosa, de color café grisáceo, humedad alta, compacidad baja, presencia de raicillas
H-2	0,60 – 2,10	Grava arenosa, color gris, humedad media a alta bajo napa, compacidad baja, finos de baja plasticidad, gravas de cantos redondeados a angulosos tamaño máximo 7".

Nota: La napa se detectó a aprox. a 1,0 m de profundidad en cada uno de los pozos (junio de 2012).
Fuente: Elaboración a partir de los resultados de Labsai

6.3.3.3. Estratigrafía Sector Yacimientos

En el sector de Yacimientos, se excavaron 10 pozos de exploración de aproximadamente 2,0 m de profundidad cada uno, respecto de la superficie actual de terreno. En el acápite 4.4 del Capítulo 4, se entrega la estratigrafía de los pozos de exploración y los resultados de los ensayes de laboratorio ejecutados en el área de Yacimientos. De acuerdo con este informe, el suelo clasifica principalmente en el sistema USCS como GP y GW, es decir corresponde a gravas pobremente graduadas y gravas bien graduadas.

Al igual que en el caso anterior se adoptó un modelo estratigráfico superficial pero esta vez al área de yacimientos, tal como se indica en el Cuadro 6.3.3.3-1.

CUADRO 6.3.3.3-1
MODELO ESTRATIGRÁFICO CALICATAS YACIMIENTOS

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,0 – 2,0	Grava arenosa, color gris, humedad media a alta con la profundidad, compacidad baja, finos de baja plasticidad, gravas de cantos redondeados a angulosos tamaño máximo 5".

Nota: La napa se detectó en promedio a 1,20 m de la superficie actual de terreno (junio de 2012)
Fuente: Elaboración a partir de los resultados de Labsai

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6.3.3.4. Sondajes

En la alternativa seleccionada, se ejecutaron 3 sondajes, de los que se obtiene el siguiente modelo estratigráfico:

CUADRO 6.3.3.4-1
MODELO ESTRATIGRÁFICO SONDAJES

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 3,50	Grava arenosa, color café grisáceo, humedad alta, compacidad alta, tamaño máximo finos de baja plasticidad.
H-2	3,50 – 20,00	Roca sana a muy sana RQD > 80%

Nota: La Napa se detectó a 1,80 m de profundidad respecto de la superficie actual de terreno en el sondaje 1, a 0,30 m de profundidad en el sondaje 2 y 0,40 m en el sondaje 3 (junio de 2012).
Fuente: Elaboración a partir de los resultados de Georotación

6.3.3.5. Ensayes de Infiltración

En los sondajes, se ejecutaron ensayes de infiltración según el método Lugeon, de 5,00 m a 10,00 m de profundidad; de 10,00 m a 15,00 m de profundidad y de 15,00 m a 20,00 m de profundidad; pero debido a las buenas características que presenta la roca, en ninguno de ellos fue posible registrar un gasto asociado a una presión máxima de inyección 10 kg/cm^2; por lo que para efectos de diseño se considera al suelo de fundación de la estructura proyectada un 100% impermeable, es decir k = 0,0 m/seg (coeficiente de permeabilidad vertical y horizontal).

Cabe señalar, que la altura máxima de agua, genera una presión máxima de aproximadamente 2,60 kg/cm^2, por lo que a lo menos, los valores anteriormente señalados, tienen un factor de seguridad mayor o igual a 4,0.

6.3.4. Conclusiones de la Exploración y de los Ensayes

De la exploración efectuada y de los ensayes de laboratorio realizados, se concluye lo siguiente:

1. El sitio en estudio es adecuado para la construcción de un muro del tipo Hormigón Rodillado (RCC), pero se debe tener la precaución de fundar toda la estructura en roca sana, la que es de muy buenas características morfológicas y presenta características de esfuerzo deformación más que adecuadas para la obra proyectada.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

2. Antes de fundar la estructura proyectada, se debe retirar toda la sobrecarga detectada en los pozos de exploración y sondajes.
3. Se debe tener especial cuidado en las faenas de excavación y preparación de los estribos para el tipo de presa recomendado, debido al peligro de desprendimientos y derrumbes en las paredes del valle, siempre asociados a este tipo de trabajos.
4. El diseño contempla el apoyo total de la estructura (muro) en roca sana, con la finalidad de controlar principalmente las filtraciones o pérdidas de carga a través del suelo de fundación. Esto implica faenas específicas de preparación del terreno antes de la ejecución de los hormigones masivos

Respecto del material detectado en el área de yacimiento, se tienen las siguientes conclusiones en cuanto a su utilización para la construcción de una presa del tipo RCC (Roller Compacted Concrete)

1. El material encontrado en el área de yacimientos, clasifica principalmente en el sistema USCS GP y GW, es decir, corresponde a una grava que va de pobremente graduada a bien graduada
2. Para sectores del área de empréstito, que presenten mucho material fino (mayor a 5% bajo 0,08 mm) será necesario "parrillar" el material para obtener las partículas sobre 5 mm, si se estima necesaria su utilización en la preparación de hormigones.
3. Las muestras analizadas, se tiene un porcentaje de finos inferior al 5%, lo que se debe tener presente en el diseño de la mezcla para el hormigón rodillado.
4. La autorización del material detectado en los yacimientos para ser chancado o parrillado, y ser utilizado en la preparación del hormigón para la construcción del muro, finalmente pasa por el especialista respectivo, él que decidirá a partir las características estructurales de este proyecto y de los resultados de los ensayes específicos para tal efecto.

– Material Fino bajo 0,08 mm	NCh	1223
– Impurezas Orgánicas	NCh	166
– Partículas desmenuzables % máx.	NCh	1327
– Partículas Blandas % máx.	NCh	170 Anexo E
– Sales agresivas (kg/m³ de hormigón	NCh	1444/1
– Carbón y Lignito % máx.	NCh	170 Anexo E
– Resistencia a la desintegración	NCh	1328
– Resistencia al desgaste	NCh	1369
– Absorción de agua % máx.	NCh	1117
	NCh	1239
– Coeficiente volumétrico medio	NCh	1511

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6.4. ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO

El objetivo principal de este acápite es cuantificar el Gasto Sólido Total (GST) asociado a la alternativa seleccionada. Para ello, se estimaron las principales componentes de este fenómeno, como Gasto Sólido en Suspensión (GSS) y Gasto Sólido de Fondo (GSF). El volumen muerto se calculó como el aporte de ambas componentes que llegan al punto del embalse durante un periodo de vida útil de 50 años.

El enfoque para estimar el Gasto Sólido Total asociado a un punto determinado del río fue el siguiente:

$$GST = GSF + GSS$$

Donde:

GST = Gasto Sólido Total de Sedimentos (kg/s)

GSF = Gasto Sólido de Arrastre de Fondo (kg/s)

GSS = Gasto Sólido en Suspensión del Cauce (kg/s)

El Gasto Sólido en Suspensión corresponde a las partículas que se generan producto de la erosión de la lluvia sobre el suelo, y que llegan al cauce a través del arrastre de la escorrentía superficial, también conocido como lavado de cuenca. El Gasto Sólido de Fondo corresponde al que se genera debido a la erosión del río, producto del esfuerzo de corte sobre las partículas que componen el fondo del cauce, este arrastre se transporta de dos formas: como arrastre de fondo propiamente tal, o partículas que durante periodos intermitentes son capaces de entrar en suspensión. Ambos gastos sólidos, permiten estimar el volumen muerto para un horizonte determinado considerando el aporte de producción medio anual asociado a cada alternativa de ubicación de embalse.

A continuación, se describen distintos métodos para estimar ambas componentes. Finalmente, se adoptó un volumen muerto que asegure un correcto funcionamiento del embalse durante el periodo de vida útil. Las distintas metodologías se aplicaron a la cuenca delimitada por la alternativa acogida (205 km^2).

6.4.1.1. Estimación de la Producción Anual de Sedimentos Suspendidos

El gasto sólido suspendido que genera una cuenca se asocia a distintos factores de erosión, tales como: la precipitación, el viento, los glaciares, el hielo, la gravedad, etc. Las partículas removidas son arrastradas y pueden, o no, incorporarse a algún cauce para ser transportadas a otros lugares de la cuenca mediante escurrimiento superficial; este proceso se facilita por las fuerzas asociadas al movimiento del fluido.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Las mediciones de este fenómeno se realizan mediante una estación sedimentométrica, sin embargo, los datos y la ubicación de este tipo de estaciones es escasa, por lo que no siempre es posible contar con una medida directa. Es por ello, que se planteó la utilización de tres metodologías empíricas y una estimación mediante registros sedimentométricos de una cuenca vecina:

- Producción Anual de Sedimento (Dendy Bolton, 1976)
- Metodología USBR, 1974
- Tasas Regionales Cogotí y US
- Estimación GSS mediante registros sedimentométricos Estación Lluta

Los métodos planteados corresponden a técnicas clásicas ampliamente utilizadas, en el que se incluyen expresiones provenientes de estudios realizados en otros países y a nivel nacional. Es importante tener en cuenta que las tasas regionales están asociadas a cuencas con un alto porcentaje nival y con caudales medios mayores que los estimados en la zona de estudio, por ende representan condiciones de mayor capacidad de arrastre y sólo se deben considerar como valores referenciales. En el Anexo 6-1 se muestra la estimación de producción de sedimento suspendidos para cada método.

a) Producción Anual de Sedimento (Dendy Bolton, 1976)

Los estudios de sedimentación de Dendy y Bolton analizaron más de 1.500 embalses y estanques de retención. Para desarrollar el estudio de fórmulas empíricas se usaron más de 800 de estos embalses con una área mayor a 1mi^2. Las cuencas con un área menor a 1 mi^2 (2,58 km^2) fueron excluidas debido a que poseen una gran variabilidad en la estimación del sedimento, reflejando diversos efectos de suelo, topografía local, vegetación, uso de suelo y prácticas agrícolas.

Para cuencas de drenajes entre 1 y 30.000 mi^2, y caudales hasta 50 in anuales. Dendy y Bolton encontraron que la producción de sedimento se relaciona de la siguiente forma:

Para Q < 2 in

$$\frac{S}{S_R} = 1.07\left(\frac{Q}{Q_R}\right)^{0.46}\left[1.43 - 0.26log\left(\frac{A}{A_R}\right)\right]$$

Para 50 in > Q > 2 in

$$\frac{S}{S_R} = 1.19e^{-0.11(Q/Q_R)}\left[1.43 - 0.26log\left(\frac{A}{A_R}\right)\right]$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Donde:

S = producción de sedimento anual ton/mi^2/año

Sr = producción de sedimento de una cuenca referencial, 1645 ton/mi^2/año

A = área aportante de la cuenca mi^2

Ar = área de referencia, 1 mi^2

En el Cuadro 6.4.1.1.-1 se muestran los parámetros de cálculo para la metodología propuesta por Dendy Bolton. Se muestra el valor del área en km^2 y mi^2, y la producción de escorrentía anual en m^3/s y como lámina de agua en pulgadas.

CUADRO 6.4.1.1-1
PARÁMETROS PARA ESTIMAR DENDY BOLTON

Alternativa	Área		Caudal		
	km^2	mi^2	m^3/s	mm	in
Seleccionada	205	79,2	0,532	81,8	3,222

Fuente: Elaboración Propia

Según estos parámetros es posible estimar la producción anual de sedimento asociada al área y al caudal expresado en lámina de agua. En el Cuadro 6.4.1.1-2 se muestra la producción anual en términos de gasto anual y diario.

CUADRO 6.4.1.1-2
PRODUCCIÓN ANUAL DE SEDIMENTOS

Alternativa	t/km^2/año	t/km^2/d
Seleccionada	593	1,62

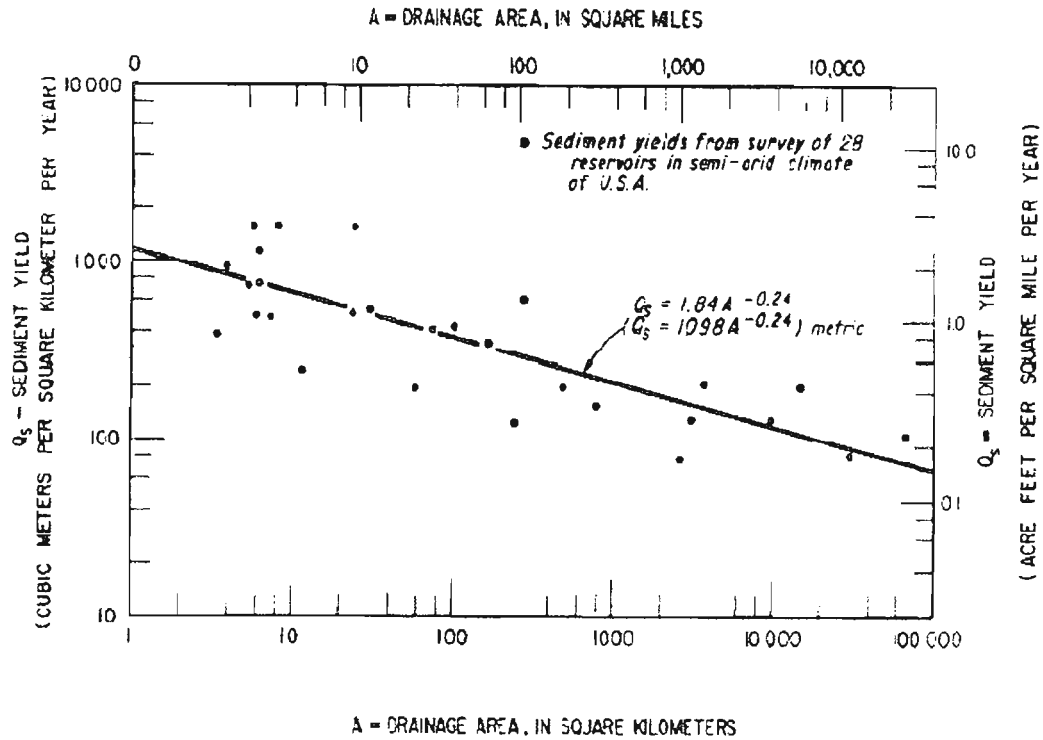
Fuente: Elaboración Propia

b) Estimación de la producción anual según metodología USBR (1974)

La expresión propuesta por la USBR (1974), se obtuvo de correlacionar la producción de sedimento asociada a 28 cuencas de clima semiárido, tal como se muestra en la Figura 6.4.1.1-1. En el Cuadro 6.4.1.1-3 se muestra el gasto sólido en términos volumétricos asociado a la alternativa de sitio de embalse.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 6.4.1.1-1
PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS VS ÁREA SEGÚN USBR



Fuente: USBR, 1974

CUADRO 6.4.1.1-3
PRODUCCIÓN ANUAL DE SEDIMENTO ASOCIADA A LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Alternativa	Área	Producción Anual		Producción Diaria
	km^2	$m^3/Km^2/año$	$t/Km^2/año$	$t/Km^2/d$
Seleccionada	205	306,0	505,0	1,38

Fuente: Elaboración Propia

c) Tasas Regionales para la Estimación Anual de Sedimento

Se consideraron tres tasas regionales, con tal de obtener valores globales de producción de sedimento. En el embalse Cogotí, IV región, se determinó una tasa de producción anual de sedimento como resultado del estudio "Sedimentación del embalse Cogotí" (López et al, 1993), en dichos estudio se obtuvo una tasa regional de 0,30 $mm/km^2/año$. Un promedio obtenido en diversas cuencas de Estados Unidos es 0,24 $mm/km^2/año$ (Tasa US). En el Cuadro 6.4.1.1-4 se muestra el volumen asociado a distintas tasas para una cuenca de 378 km^2. Al considerar un peso específico del

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

material depositado igual a 1,65 ton/m^3 es posible determinar una producción anual de este material.

CUADRO 6.4.1.1-4
VOLUMEN MUERTO SEGÚN TASAS REGIONALES

Alternativa	Tasa Cogotí			Tasa US		
	mm/Km^2/año	t/Km^2/año	t/km^2/d	mm/Km^2/año	t/Km^2/año	t/km^2/d
Seleccionada	0,30	495	1,36	0,24	396	1,08

Fuente: Elaboración Propia

Estas tasas regionales son representativas de cuencas con alto arrastre de sedimentos ubicadas en el sector andino con importante presencia nival. Por lo que sólo se pueden considerar como un valor referencial para obtener un volumen muerto.

d) Estimación de la Producción Solida Suspendida Mediante Uso de Registros de Estación Sedimentométrica

En la zona de estudio no existen registros de mediciones sedimentométricas, que permitan estimar con precisión la producción real observada en la zona de ubicación de embalse. Sin embargo, en la zona de la cuenca del Río Lluta se cuenta con registros de una estación sedimentométrica. En la Figura 6.4.1.1-2 se muestra la sección de ambos ríos, Río Lluta (izquierda) y Quebrada Vítor (derecha), por lo que se puede inferir una similitud en los depósitos en la producción de sedimentos, al observar la caja y los depósitos de fondo de ambos cauces.

Los registros de gasto sólido en suspensión se ajustan a una curva del tipo:

$$Qs = a \cdot Ql^b$$

Donde a y b corresponden a parámetros que dependen del las características geomorfológicas de la cuenca, del tipo de cobertura y del tipo de suelo, Qa corresponde al gasto sólido (ton/d) y Ql al gasto líquido (m^3/s). En la Figura 6.4.1.1-3 se muestra el ajuste de tres líneas de tendencia: superior, central e inferior, cuyos coeficientes se muestran en el Cuadro 6.4.1.1-5.

Estos valores permiten estimar la producción de sedimentos asociada a distintas tendencias de producción. Si bien estos registros corresponden a la Cuenca del Lluta, se pueden extrapolar al considerar similitud de producción de sedimentos. En el Anexo 6-1 se muestran los registros y el promedio anual.

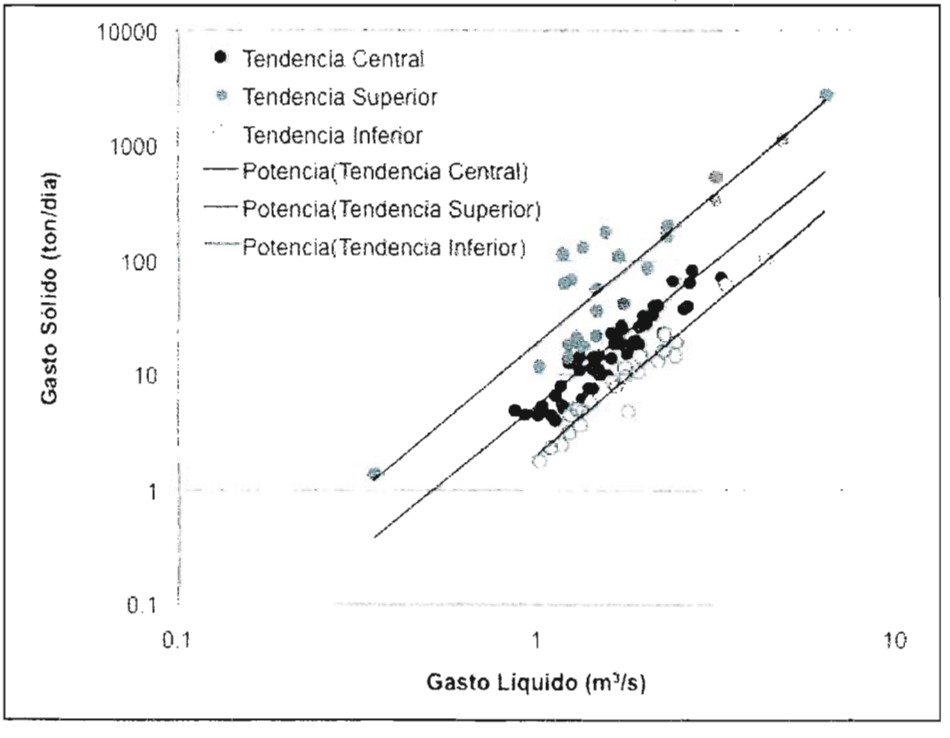
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 6.4.1.1-2
SECCIÓN CERCANA A ESTACIÓN SEDIMENTOMÉTRICA LLUTA (IZQUIERDA) Y QUEBRADA VÍTOR (DERECHA)



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 6.4.1.1-3
TENDENCIAS DE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTO EN SUSPENSIÓN ESTACIÓN SEDIMENTOMÉTRICA LLUTA



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

CUADRO 6.4.1.1-5
PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS

	Inferior	Central	Superior
a	2,01	5,36	18,59
b	2,63	2,53	2,62
R^2	0,835	0,555	0,947

Fuente: Elaboración Propia

Para estimar la producción media anual se utiliza la estadística de caudales generadas para la alternativa seleccionada y se promedia la producción anual para la estimación del gasto de arrastre de sedimentos. Para estimar la producción de sedimentos de la cuenca asociada a la Quebrada de Vítor se utiliza la tendencia superior estimada en la cuenca del Lluta.

CUADRO 6.4.1.1-6
PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN

Alternativa	t/año	t/año/km^2	t/d/km^3
Seleccionada	45.450	221,7	0,61

Fuente: Elaboración Propia

6.4.1.2. Producción de Sedimento Adoptado

En el Cuadro 4.9.2-1 se muestra el resumen de la producción de sedimento según cada metodología utilizada para las distintas zonas de embalse Umirpa.

CUADRO 6.4.1.2-1
TASA DE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS

Metodología	Dendy Bolton t/día/km^2	USBR t/día/km^2	Tasa Cogotí t/día/km^2	Tasa US t/día/km^2	Tasa Est. Tacontasi t/día/km^2
Sitio Muro	1,62	1,38	1,36	1,08	0,61

Fuente: Elaboración Propia

Se eligió la tasa obtenida con los datos registrados en la estación Tacontasi en Río Lluta ya que estos representan el arrastre real en una cuenca con características similares a la de Vítor y a que, de acuerdo a las inspecciones realizadas en terreno, no se observó un arrastre masivo de bolones después de las crecidas del verano.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

6.4.2. Estimación Gasto Sólido de Fondo (GSF)

6.4.2.1. Introducción

Para la estimación del GSF o arrastre de fondo en el embalse Umirpa se utilizaron los siguientes métodos empíricos: Meyer-Peter (1948), Wilson (1966), Engelund (1976), Fernández-Luque (1976), Einstein (1950) y Ashida-Michiue (1972). Todos estos métodos aparecen descritos en los siguientes apuntes:

- Horacio Mery, 2005. **Diseño de Obras Hidráulicas**. Apuntes del Curso CI51B, Universidad de Chile.
- Yarko Niño, 2004. **Transporte Hidráulico de Sólidos**. Apuntes del Curso CI71J, Universidad de Chile.
- K. Whipple, 2004. **Procesos Superficiales y Evolución del Medio**. Apuntes del Instituto de Sedimento de Massachusetts.

6.4.2.2. Descripción Granulométrica del Lecho en Río Codpa

Para realizar la caracterización granulométrica en el Río Codpa se procedió a realizar diferentes calicatas, tanto en la zona de ubicación del Muro de Presa como en el sector aguas arriba. La ubicación de estas calicatas se incluye en el acápite 6.3.

En el Cuadro 6.4.2.2-1 se muestra la profundidad y el tramo representativo de cada calicata. En las calicatas que se observó más de un estrato se tomó dos muestras para realizar análisis de los distintos horizontes de suelo.

En el Anexo 6-2 se muestran en detalle los porcentajes acumulados que pasan para las distintas aperturas de malla. En el Cuadro 6.4.2.2-2 se muestran los valores de diámetros representativos de cada calicata, con su respectivo coeficiente de uniformidad.

CUADRO 6.4.2.2-1
PROFUNDIDAD CALICATAS

Calicata	Profundidad (m)
CY - 1	0,0-2,0
CY - 2	0,0-1,2
CY - 3	0,0-1,7
CY - 4	0,0-1,2
CY - 5	0,0-1,6
CY - 6	0,0-1,0
CY - 7	0,0-1,5
CY - 8	0,0-2,0
CY - 9	0,0-2,0
CY - 10	0,0-2,5

Calicata	Profundidad (m)
1 C-1	0,0-1,6
1 C-2	0,0-1,5
1 C-3	0,0-1,7
1 C-4	0,0-1,7
1 C-5	0,0-2,1
1 C-6	0,0-1,6

Calicata	Profundidad (m)
2 C-1	0,0-1,5
2 C-2	0,0-1,0
2 C-3	0,0-1,5
2 C-4	0,0-1,7
2 C-5	0,0-1,0
2 C-6	0,0-1,7

Calicata	Profundidad (m)
3 C-1	0,0-2,0
3 C-2	0,0-1,7
3 C-3	0,0-2,7
3 C-4	0,0-1,7
3 C-5	0,0-3,0
3 C-6	0,0-1,7

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

CUADRO 6.4.2.2-2
DIÁMETROS REPRESENTATIVOS DE CALICATAS

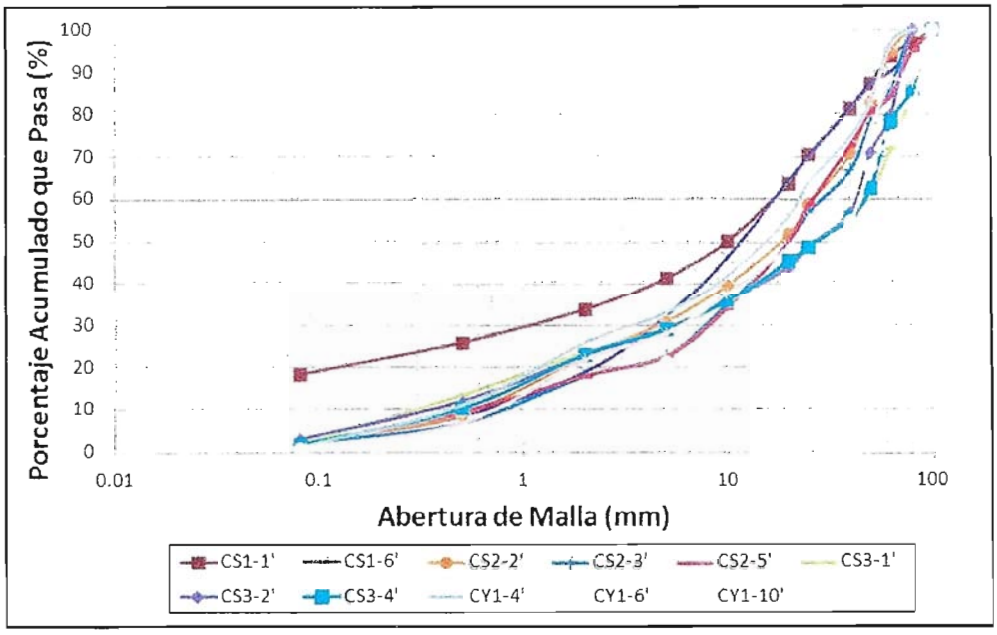
Diámetro	CS1-1	CS1-2	CS1-3	CS1-3	CS1-4	CS1-5	CS1-6	CS2-1	CS2-2	CS2-3
Cota (m)	0,0-1,6	0,55-1,5	0,0-0,8	0,8-1,7	0,6-1,7	0,0-1,0	0,0-1,6	-	0,0-1,0	0,8-1,5
Dm (mm)	80,7	62,6	4,7	69,2	64,5	4,7	78,5	76,0	55,8	52,2
D_{50} (mm)	10,0	30,0	0,1	15,0	28,0	0,1	12,0	11,0	18,0	20,0
D_{30} (mm)	1,1	8,5	0,1	2,5	8,5	0,1	4,5	2,0	4,9	7,9
D_{84} (mm)	45,0	80,0	0,4	85,0	85,0	0,4	44,0	56,0	51,0	64,0
D_{90} (mm)	55,0	90,0	0,4	90,0	90,0	0,4	59,0	77,0	68,0	70,0
D_{60} (mm)	18,0	45,0	0,2	25,0	40,0	0,2	18,0	22,0	27,0	29,0
D_{10} (mm)	0,0	0,4	0,0	0,4	0,6	0,0	0,6	0,6	0,6	0,8
Cu	1800,0	128,6	6,0	62,5	66,7	5,9	30,0	37,9	45,8	38,7
Clasificación	GM	GP	GP	SM	GW	SM	GW	GP	GW	GW
Diámetro	CS2-4	CS2-5	CS2-6	CS2-6	CS3-1	CS3-2	CS3-3	CS3-4	CS3-5	CS3-6
Cota (m)	1,1-1,7	0,0-1,0	0,5-1,0	1,0-1,7	1,3	0,0-1,3	1,9-2,7	0,0-0,7	2,1-3,0	0,7-1,7
Dm (mm)	40,3	72,3	19,1	67,2	63,4	48,5	60,3	64,7	66,8	60,1
D_{50} (mm)	17,0	20,0	0,3	17,0	25,0	28,0	36,0	27,0	23,0	44,0
D_{30} (mm)	5,0	8,2	0,1	4,1	5,2	5,7	4,1	5,3	3,5	11,0
D_{84} (mm)	51,0	63,0	1,4	84,0	80,0	69,0	90,0	79,0	78,0	80,0
D_{90} (mm)	56,0	71,0	1,7	90,0	89,0	70,0	91,0	88,0	90,0	83,0
D_{60} (mm)	24,0	26,0	0,3	31,0	49,0	44,0	52,0	47,0	37,0	54,0
D_{10} (mm)	0,6	0,5	0,1	0,5	0,3	0,4	0,1	0,5	0,1	0,4
Cu	40,0	51,0	5,4	63,3	163,3	122,2	520,0	97,9	264,3	154,3
Clasificación	GW	GP	SM	GP	GW	GW	GP-GM	GP	GW-GM	GP
Diámetro	CY1-1	CY1-2	CY1-3	CY1-4	CY1-5	CY1-6	CY1-7	CY1-8	CY1-9	CY1-10
Cota (m)	0,0-2,0	0,0-1,2	1,0-1,7	-	1,15-1,6	0,0-1,0	0,6-1,5	0,65-2,0	0,65-2,0	0,0-2,5
Dm (mm)	73,4	55,9	58,8	57,7	23,5	55,1	64,6	65,7	61,1	61,8
D_{50} (mm)	17,0	17,0	10,0	16,0	0,3	20,0	26,0	22,0	42,0	33,0
D_{30} (mm)	2,3	1,1	1,6	3,3	0,2	6,0	5,3	6,0	5,0	11,0
D_{84} (mm)	65,0	15,0	60,0	52,0	1,4	59,0	78,0	74,0	89,0	82,0
D_{90} (mm)	72,0	24,0	70,0	56,0	2,0	85,0	87,0	82,0	91,0	90,0
D_{60} (mm)	25,0	2,8	16,0	22,0	0,5	33,0	57,0	36,0	49,0	46,0
D_{10} (mm)	0,4	0,5	0,2	0,4	0,1	0,7	6,7	5,8	0,3	1,1
Cu	62,5	5,6	66,7	53,7	4,9	47,1	8,5	6,2	175,0	41,8
Clasificación	GP	SP	GP-GM	GW	SP	GW	GP	GW	GP-GM	GM

Fuente: Elaboración propia

Para las calicatas presentadas en los Cuadro 6.4.2.2-2 se procedió a seleccionar aquellas que son representativas del lecho que está susceptible a sufrir esfuerzos de socavación. Las curvas granulométricas de las calicatas representativas se muestran en la Figura 6.4.2.2-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 6.4.2.2-1
CURVAS GRANULOMÉTRICAS REPRESENTATIVAS DEL LECHO EN RÍO CODPA



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 6.4.2.2-1 se observa que las curvas granulométricas dan cuenta de una composición extendida de gravas con un porcentaje aproximado del 12% de limos y un 10% de arenas. La variación del D_{50} a lo largo del río da cuenta de valores cercanos a 15 mm, tal como se muestra en el Cuadro 6.4.2.2-3 y Figura 6.4.2.2-2.

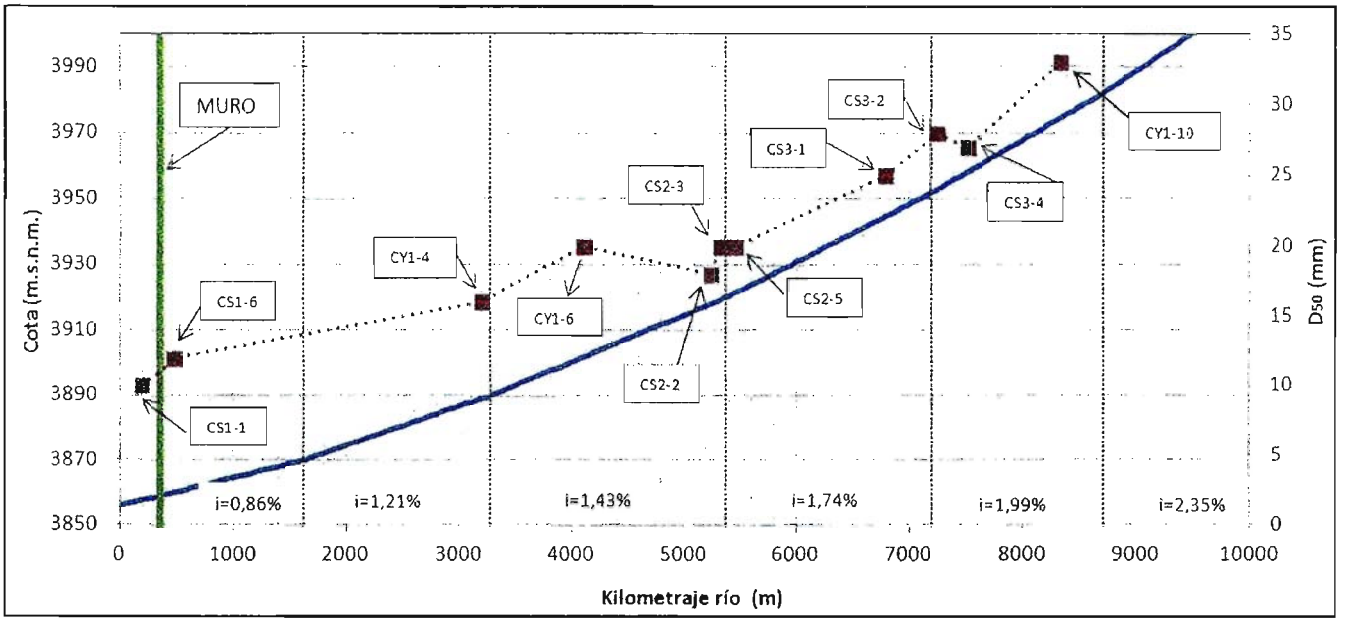
CUADRO 6.4.2.2-3
VALORES D_{50} EN EL EJE LONGITUDINAL DEL RÍO CODPA

Calicata	Distancia Longitudinal (km)	D_{50}
CS1-1	0,20	10,0
CS1-6	0,47	12,0
CY1-4	3,20	16,0
CY1-6	4,10	20,0
CS2-2	5,24	18,0
CS2-3	5,32	20,0
CS2-5	5,46	20,0
CS3-1	6,80	25,0
CS3-2	7,26	28,0
CS3-4	7,52	27,0
CY1-10	8,34	33,0
D_{50} promedio		**20,8**
D_{50} Desviación Estándar		**7,0**

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

FIGURA 6.4.2.2-2
VALORES D_{50} EN EL EJE LONGITUDINAL DEL RÍO CODPA



Fuente: Elaboración propia

El perfil longitudinal del río presenta pendientes fuertes a lo largo de todo el tramo indicado en la Figura 6.4.2.2-2, que se van suavizando (desde aguas arriba a aguas abajo) a medida de que se acerca a la zona del muro proyectado con una pendiente media final de 0,0086 (H/L). El tramo superior presenta pendientes de hasta 0,0235 (H/L). El D_{50} presenta un promedio de 20,8 mm y una desviación estándar de 7,0 mm.

En la Figura 6.4.2.2-3 se observa la curva promedio representativa del lecho y su respectiva clasificación según los criterios de la A.S.T.M. En esta figura se observa que la curva granulométrica corresponde a un sedimento extendido compuesto por grava y un 20% aproximado de contenido de fino. En el Cuadro 6.4.2.2-4 se muestran los valores representativos del lecho.

CUADRO 6.4.2.2-4
DIÁMETROS REPRESENTATIVOS DEL LECHO RÍO CODPA

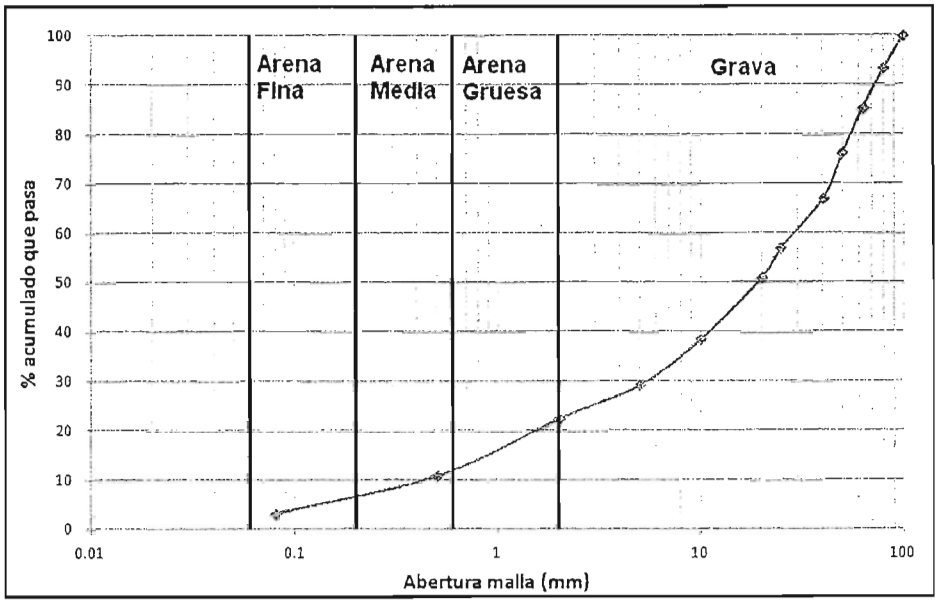
Diámetro		Diámetro	
Dm (mm)	28,6	**D_{30} (mm)**	5,7
D_{90} (mm)	72,8	**D_{16} (mm)**	1,0
D_{84} (mm)	62,5	**D_{10} (mm)**	0,6
D_{60} (mm)	32,6	**C_u**	9,9
D_{50} (mm)	20,8	-	-

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Según el coeficiente de uniformidad el material corresponde a uno poco graduado con un diámetro medio de 28,6 mm y un diámetro que pasa el 50% de 20,8 mm.

FIGURA 6.4.2.2-3
CURVA GRANULOMÉTRICA REPRESENTATIVA LECHO RÍO CODPA



Fuente: Elaboración propia

6.4.2.3. Eje Hidráulico

Para la aplicación de los métodos que permiten estimar el arrastre de fondo, se necesita conocer las velocidades y alturas de escurrimiento del río. Por esta razón, se procedió a generar el eje hidráulico de la zona de embalse utilizando el modelo Hec-Ras. En el Anexo 6-3 se muestra el modelo Hec-RAS en detalle.

En este caso los inputs del modelo Hec-Ras son los siguientes:

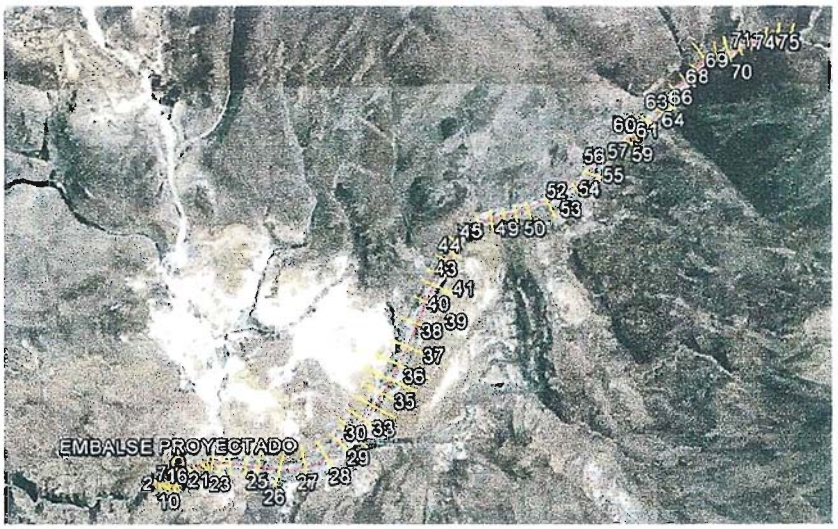
- Perfiles Transversales de la caja del río en la zona de Embalse
- Condiciones de Borde
- Estimación Rugosidad de Manning en el Lecho del Río
- Caudales para diferentes periodos de retorno

a) Perfiles Transversales

A partir del levantamiento aerofotogramétrico realizado en la zona del embalse, se generaron perfiles transversales con el fin de caracterizar la caja del río .En la Figura 6.4.2.3-1 se muestran embálselos perfiles transversales.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 6.4.2.3-1
PERFILES TRANSVERSALES REPRESENTATIVOS DE LA ZONA DEL EMBALSE



Fuente: Elaboración propia

b) Condiciones de Borde

Las condiciones de borde indicadas en el modelo fueron las pendientes del lecho del río, tanto aguas arriba como aguas abajo del tramo analizado, ya que a partir de ello se calculan las alturas normales del flujo. La inclusión de las dos condiciones tiene como fin representar el régimen subcrítico y supercrítico del tramo.

- Pendiente Aguas Arriba: 0,0235 m/m
- Pendiente Aguas Abajo: 0,0086 m/m

c) Estimación Rugosidad de Manning Lecho del Río

Para estimar la rugosidad de la caja del cauce se aplicaron las siguientes expresiones: Limerinos (1970), Jarret (1984), Stricker con ajustes de Mery (1995), Cowan, Brownie (1983) y método de la USGS. En el Anexo 6-4 se muestran los cálculos en detalle de cada metodología. En el Cuadro 6.4.2.3-1 se muestran los valores resumen con estas metodologías.

CUADRO 6.4.2.3-1
VALORES DE RUGOSIDAD PARA LA CAJA DEL CAUCE RÍO CODPA

Parámetro	Valor
$n_{limerinos}$	0,031
$n_{Jarrett}$	0,066
$n_{Strickerf\ d50}$	0,022
$n_{Stricker\ d90}$	0,027
$n_{Brownlie}$	0,034
n_{Cowan}	0,032
n_{USGS}	0,033

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Según la metodología de la USGS (1967) es posible Identificar una caja de similares características al Río Codpa y asociar el valor del coeficiente de Manning medido en terreno. Es importante que la similitud comprenda caja, ribera del lecho y material del fondo del río. Según el Manual de la USGS, disponible en el Anexo 6-5, es posible utilizar el coeficiente de Manning para el cauce de la Figura 6.4.2.3-2.

FIGURA 6.4.2.3-2
COMPARACIÓN DE LECHOS



Fuente: USGS 1967

En la Figura 6.4.2.3-2 se observan ambos lechos, en los que ambos presentan una caja de río compuesta por gravas y vegetación leve en los costados del río. El valor estimado para ribera y caja del río mediante este método corresponde a 0,033.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Finalmente se adopta un coeficiente de rugosidad de Manning de 0,033 para la caja del río y 0,040 para el sector de riberas del río.

6.4.2.4. Estimación del Gasto Sólido de Arrastre de Fondo

Para estimar el gasto sólido correspondiente al arrastre de fondo se aplicaron las siguientes expresiones: Meyer-Peter (1948), Wilson (1966), Engelund (1976), Fernández-Luque (1976), Einstein (1950) y Ashida-Michiue (1972). Para ello es necesario caracterizar el tipo de sedimento que se encuentra en el fondo de la caja del río. En el Cuadro 6.4.2.4-1 se muestran las principales características según el tipo de material de fondo.

CUADRO 6.4.2.4-1
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE FONDO DEL RÍO CODPA

Parámetro	Valor
γ (kg/m^3)	1.004
γ_s (kg/m^3)	2.650
ϕ_{grava}	40
ν (m^2/s)	1,308E-06
Δ	1,6

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 6.4.2.4-2 se muestra la velocidad de sedimentación, el diámetro adimensional y el esfuerzo crítico del Gráfico de Schields.

CUADRO 6.4.2.4-2
DIÁMETRO ADIMENSIONAL Y ESFUERZO DE CORTE CRÍTICO

Parámetro	Valor
w	0,466
d*	439
$(\tau*)_c$	0,050

Fuente: Elaboración propia

El parámetro de interés, que caracteriza la capacidad de arrastre del fondo, corresponde al gasto sólido volumétrico por unidad de ancho, que se obtiene tal como se describe a continuación (Niño Y. 2004):

$$q_s = q_s^* \cdot \sqrt{g \cdot \Delta \cdot d_s^3}$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Donde:

q_s = Gasto sólido volumétrico por unidad de ancho ($m^3/s/m$)
q_s^* = Gasto sólido adimensional
g = Aceleración de gravedad(m/s^2)
Δ = Peso Sólido Sumergido
d_s = Diámetro característico (m)

Las expresiones utilizadas para estimar el gasto sólido adimensional se describen en el Cuadro 6.4.2.4-3. Estas corresponden a expresiones que consideran un esfuerzo de corte crítico que debe ser superado para iniciar el arrastre de las partículas.

CUADRO 6.4.2.4-3
EXPRESIONES SEMI-EMPÍRICAS PARA EL GASTO SÓLIDO ADIMENSIONAL

Autor	Expresión	Condiciones
Meyer-Peter (1948)	$q_s = 8{,}0 \cdot \left(\tau_* - \tau_{cr*}\right)^{3/2}$	τ_{cr*}: 0,048, para gravas pequeñas bien graduadas. Considera capacidad de transporte medio.
Wilson (1966)	$q_s = 12{,}0 \cdot \left(\tau_* - \tau_{cr*}\right)^{3/2}$	Considera capacidad de transporte alto.
Fernández-Luque (1976)	$q_s = 5{,}7 \cdot \left(\tau_* - \tau_{cr*}\right)^{3/2}$	Considera capacidad de transporte bajo.
Engelund (1976)	$q_s^* = 18{,}74 \cdot \left(\tau_* - \tau_{*c}\right)\left(\tau_*^{1/2} - 0{,}7 \cdot \tau_{*c}^{1/2}\right)$	τ_{*c}: 0,05. Considera velocidades media de las partículas en saltación.
Ashida-Michiue (1972)	$q_s^* = 17{,}0 \cdot \left(\tau_* - \tau_{*c}\right)\left(\tau_*^{1/2} - \tau_{*c}^{1/2}\right)$	τ_{*c}: 0,05 Considera velocidades media de las partículas en saltación.

Fuente: Niño Y. 2004, Whipple K. 2004

Otra expresión utilizada para estimar el gasto Sólido adimensional corresponde a la aplicación del enfoque propuesto por Einstein (1950), que no predice valores del gasto sólido muy distintos de los estimados por las otras relaciones de gasto sólido, excepto para valores pequeños del esfuerzo de corte adimensional (Niño Y., 2004). Las diferencias se deben a que este enfoque no considera un esfuerzo de corte crítico, por lo que para valores pequeños de esfuerzo de corte adimensional no entrega valores nulos. La expresión para obtener el valor del gasto Sólido adimensional se muestra a continuación:

$$\frac{43{,}5 \cdot q_s^*}{1 + 43{,}5 \cdot q_s^*} = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\varepsilon 0}^{\varepsilon 1} \exp\left(-t^2\right)\, dt$$

Donde los límites de la integración corresponden a:

$$\varepsilon_0 = \frac{-0.143}{\tau_*} - 2$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$\varepsilon_1 = \frac{0.143}{\tau_*} - 2$$

En el Cuadro 6.4.2.6-4 se muestran los caudales máximos para los cuales se estimo el volumen de arrastre de fondo asociado a cada crecida.

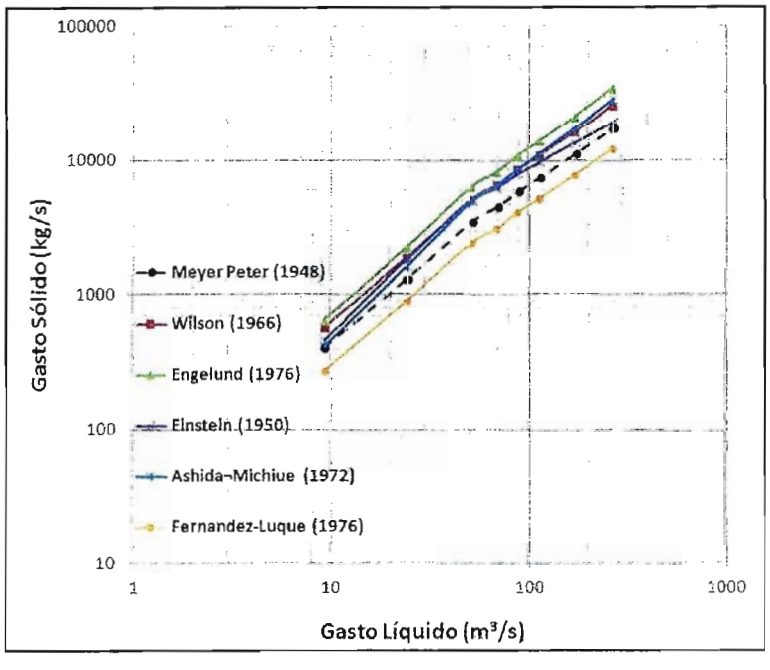
CUADRO 6.4.2.4-4
CAUDALES MÁXIMOS PARA ESTIMACIÓN DE GASTO SÓLIDO

T (años)	P_{exc}	Q (m^3/s)
2	20%	9,4
10	10%	24,4
20	5%	51,9
50	2%	69,9
100	1%	89,0
200	0,5%	114,1
1.000	0,1%	173,0
10.000	0,01%	270,1

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 6-2 se muestra el detalle de los cálculos para todas las expresiones. En la Figura 6.4.2.4-1 se muestra el Gasto Sólido Volumétrico versus el caudal máximo de cada crecida.

FIGURA 6.4.2.4-1
GASTO SÓLIDO DE ARRASTRE DE FONDO VERSUS CAUDAL MÁXIMO



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Se observa que la envolvente superior de gasto sólido queda determinada por la expresión de Engelund (1976), mientras que la curva que sub-estima los valores de gasto sólido, envolvente inferior, corresponde a la de Fernández-Luque (1976).

Se observa que el gasto sólido del cauce en la zona de embalse corresponde a un lecho con arrastre de fondo alto o muy alto. Esto coincide con el tamaño medio y con el tipo de granulometría presente en la zona, en la que el arrastre de fondo corresponde a una componente importante del volumen muerto del embalse. En el Cuadro 6.4.2.4-5 se muestra el resumen de los volúmenes obtenido por los diferentes expresiones semi - empíricas. En la Figura 6.4.2.4-2 se muestran los gastos sólidos con respecto a su respectiva probabilidad de excedencia.

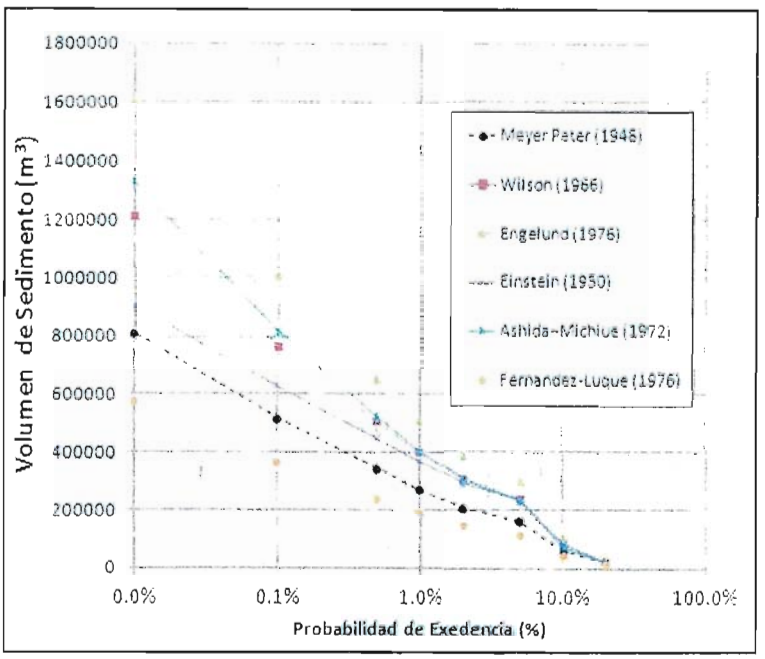
CUADRO 6.4.2.4-5
RESUMEN DE VOLUMEN DE SEDIMENTO POR ARRASTRE DE FONDO (m3)

Periodo Retorno	Meyer Peter (1948)	Wilson (1966)	Engelund (1976)	Fernandez -Luque (1976)	Einstein (1950)	Ashida-Michiue (1972)
T 5	3986	5782	6828	2747	5336	4779
T 10	5579	8210	10112	3900	7928	7653
T 20	5552	8205	10285	3897	7845	7978
T 50	2394	3545	4493	1684	3297	3531
T 100	1536	2278	2918	1082	2048	2320
T 200	1722	2558	3324	1215	2164	2681
T 1000	599	891	1177	423	691	964
T 10000	81	121	161	58	90	133
Volumen (año)	21.450	31.590	39.299	15.005	29.400	30.040
n = 50 años	1.072.511	1.579.525	1.964.974	750.274	1.470.019	1.501.984

Fuente: Elaboración propia

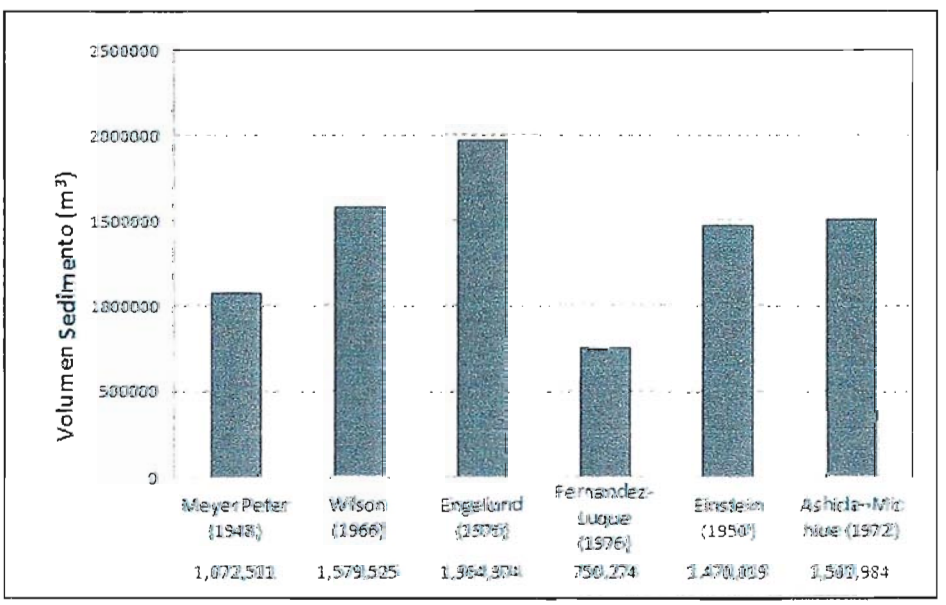
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 6.4.2.4-2
VOLUMEN SEDIMENTO ESTIMADO PARA EMBALSE UMIRPA



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 6.4.2.4-3
RESUMEN DE VOLUMEN DE SEDIMENTO PARA GASTO SÓLIDO



Fuente: Elaboración propia

Se adoptó el valor de 1,38 hm^3 para el GSF, el cual corresponde al promedio de los valores obtenidos.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

De esta manera se estiman los valores de Volumen Muerto asociado al Gasto Sólido de Fondo según las metodologías propuestas por Meyer-Peter (1948), Wilson (1966), Engelund (1976), Fernández-Luque (1976), Einstein (1950) y Ashida-Michiue (1972) para un periodo de vida útil de la obra de 50 años.

6.4.2.5. Volumen Muerto Adoptado

En el Cuadro 6.4.2.5-1 se muestra la producción de sedimento adoptada, que considera el gasto sólido en suspensión y el gasto mediante arrastre de fondo. Esta tasa corresponde a la obtenida mediante el análisis de los registros de la estación sedimentométrica del Lluta.

CUADRO 6.4.2.5-1
PRODUCCIÓN ANUAL DE SEDIMENTO ADOPTADA

Metodología	Producción Sedimento en Suspensión	Producción Sedimento de Arrastre de Fondo	Producción Sedimento Total	Producción Anual de Sedimento
	ton/día/km^2	ton/día/km^2	ton/día/km^3	ton/año
Sitio Muro	0,607	0,613	1,22	91.317

Fuente: Elaboración Propia

Aunque la tasa de producción de sedimentos corresponde a la tendencia superior de los registros del Lluta se debe hacer notar que los valores de producción anual obtenidos mediante métodos empíricos siempre entregaron valores mayores a los registrados por la estación sedimentométrica. La incertidumbre asociada a la producción de sedimentos en la zona se debe a la falta de registros de esta variable, por lo que se recomienda fuertemente que para el diseño definitivo del Embalse Umirpa se realice un conjunto de mediciones de gasto sólido suspendido y de arrastre de fondo en distintas temporadas con tal de seleccionar la metodología que se adecúe a los niveles de producción real de la cuenca de la Quebrada de Vítor.

A continuación en el Cuadro 6.4.2.5-2 se muestra el volumen muerto asociado a la alternativa de Embalse seleccionada para un periodo de vida útil de 50 años. Se considera un peso específico de 1,65 ton/m^3 para la estimar el volumen muerto a partir de la producción anual de sedimento.

CUADRO 6.4.2.5-2
VOLUMEN MUERTO PARA DIFERENTES ALTERNATIVAS EN 50 AÑOS

Alternativa	Producción Anual	Volumen Muerto	Volumen Muerto
	(ton/año)	(m^3/año)	(hm^3)
Seleccionada	91.317	55.343	2,8

Fuente: Elaboración Propia

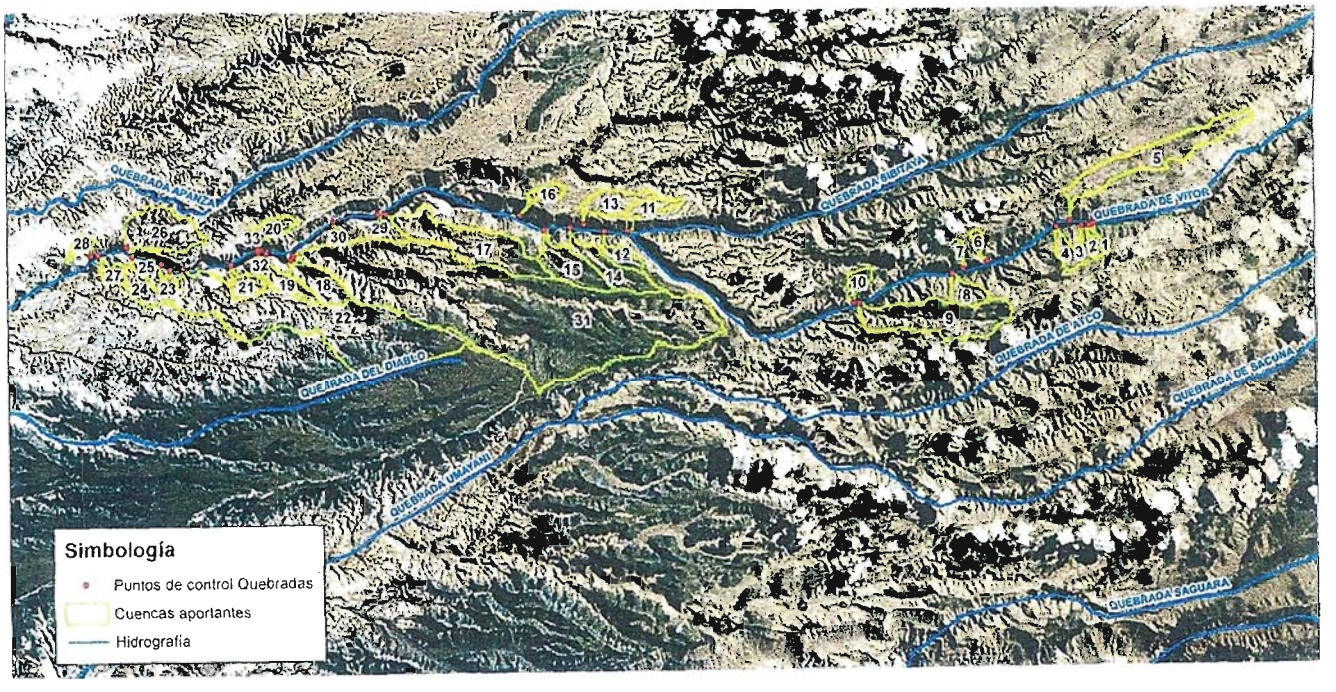
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6.5. EVALUACIÓN DE CRECIDAS EN QUEBRADAS LATERALES EN EL SECTOR DE CANALES

6.5.1. Puntos de análisis

En el Cuadro 6.5.1-1 y en la Figura 6.5.1-1 se presentan los puntos de cruces de quebrada que fueron identificados como puntos de interés, en lo que se podrían generar problemas con las aguas lluvias poniendo en riesgo los canales de riego ahí presentes. Han sido identificados 33 puntos de análisis, en los cuales existe presencia de canales y de quebradas de importancia relativa.

FIGURA 6.5.1-1
CRUCES DE QUEBRADAS CON EL RÍO VÍTOR



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 6.5.1-1
CRUCES DE QUEBRADAS CON EL RÍO VÍTOR

Quebrada	Coordenadas UTM Este	Coordenadas UTM Norte	Canal que Atraviesa
1	440.909	7.918.108	Vila Vila
2	440.790	7.918.077	Vila Vila
3	440.609	7.918.073	Vila Vila
4	440.020	7.918.040	Vila Vila
5	440.346	7.918.190	Vila Vila Peña grande
6	438.360	7.917.239	-
7	437.802	7.917.088	-
8	437.537	7.916.965	-
9	435.291	7.916.286	Sta Rosa
10	435.170	7.916.313	San Pedro
11	429.732	7.918.044	Peral 1 y 2 , Cala Cala
12	429.170	7.918.045	Cala Cala, Pucara
13	428.665	7.918.221	Poroma 2, Chitita
14	428.339	7.918.138	Derivada Pucara, Chitita
15	427.719	7.918.105	Chucachuca
16	427.130	7.918.443	Miraflores
17	423.902	7.918.503	Naranjane, Marquirabe
18	421.628	7.917.455	El Molino, La Virgen
19	421.038	7.917.610	Cachicachi
20	420.893	7.917.709	La Virgen, Arenal-Tapial
21	420.179	7.917.335	Pacayane sur
22	419.053	7.917.239	Amasaca Grande, Amasaca Grande Bajo 1
23	418.731	7.917.212	Amasaca Grande Bajo 2
24	417.840	7.917.549	Amasaca Grande Bajo 2
25	418.522	7.917.357	Amasaca Grande Bajo 2
26	417.697	7.917.765	Unificación Viñane Sta. Rosa 1, La Virgen 2
27	417.014	7.917.581	La Virgen 2
28	416.838	7.917.578	La Virgen 2
29	423.725	7.918.504	Naranjane, Marquirabe
30	422.662	7.918.322	Isajima, El Olivo
31	421.691	7.917.548	El Molino, La Virgen (Poblado de Codpa)
32	420.830	7.917.638	Cachicachi
33	420.830	7.917.698	La Virgen, Arenal-Tapial

Nota: Coordenadas en UTM 19 Sur, Datum WGS84
Fuente: Elaboración propia

En cada una de las quebradas analizadas fue delimitada la cuenca aportante, y estimados sus parámetros morfométricos básicos (desnivel máximo y longitud del cauce principal) con el fin de calcular el tiempo de concentración. Este parámetro representa el tiempo que tarda en recorrer la partícula de agua más alejada

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

hasta el punto de control, y es usado posteriormente en la estimación de las crecidas. A continuación se muestra la expresión de California, que corresponde a la más utilizada y adecuada para la zona de estudio según el tamaño de las quebradas.

Fórmula de California Highways:

$$Tc = 0.95\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Donde:

T_c: tiempo de concentración en (horas)

L: longitud del cauce principal (km)

H: desnivel máximo del cauce principal (m)

A continuación se muestran los valores de H, L y T_c obtenidos para la cuenca de la alternativa escogida (Cuadro 6.5.1-2) y para cada cuenca lateral respectivamente (Cuadro 6.5.1-3), así como su área aportante.

CUADRO 6.5.1-2
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN ALTERNATIVA SELECCIONADA

Área cuenca aportante (km^2)	Longitud Cauce principal (L) (km)	Desnivel máximo de cauce (H) (m)	Tc (hr)	Tc adoptado (hr)
205	22,2	589	2,93	2,93

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 6.5.1-3
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LAS DISTINTAS QUEBRADAS ANALIZADAS

Quebrada	Área cuenca aportante (km^2)	Longitud Cauce principal (L) (km)	Desnivel máximo de cauce (H) (m)	Tc (hr)	Tc adoptado (hr)
1	0,09	0,17	45,00	0,03	0,08
2	0,14	0,52	224,00	0,06	0,08
3	0,06	0,50	231,00	0,05	0,08
4	0,32	0,92	333,00	0,09	0,09
5	2,17	5,35	484,00	0,61	0,61
6	0,10	0,58	229,00	0,06	0,08
7	0,06	0,26	154,00	0,03	0,08
8	0,45	0,74	190,00	0,09	0,09
9	2,43	3,83	466,00	0,42	0,42
10	0,26	0,60	160,00	0,07	0,08

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 6.5.1-3
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LAS DISTINTAS QUEBRADAS ANALIZADAS

Quebrada	Área cuenca aportante (km^2)	Longitud Cauce principal (L) (km)	Desnivel máximo de cauce (H) (m)	Tc (hr)	Tc adoptado (hr)
11	0,42	1,43	300,00	0,16	0,16
12	0,36	1,22	235,00	0,15	0,15
13	0,71	1,86	305,00	0,22	0,22
14	0,97	2,26	282,00	0,28	0,28
15	1,06	2,04	290,00	0,24	0,24
16	0,24	1,02	270,00	0,11	0,11
17	2,43	4,25	426,00	0,49	0,49
18	0,79	1,42	219,00	0,18	0,18
19	0,47	1,58	207,00	0,21	0,21
20	0,33	0,92	181,00	0,12	0,12
21	0,36	0,89	152,00	0,12	0,12
22	6,99	8,49	588,00	0,97	0,97
23	0,17	0,46	82,00	0,07	0,08
24	0,51	1,10	98,00	0,18	0,18
25	0,12	0,38	71,00	0,06	0,08
26	1,49	1,86	131,00	0,30	0,30
27	0,24	0,44	68,00	0,07	0,08
28	0,18	0,15	32,00	0,03	0,08
29	0,04	0,48	168,00	0,06	0,08
30	0,07	0,18	29,00	0,04	0,08
31	16,25	11,24	656,00	1,28	1,28
32	0,06	0,16	39,00	0,03	0,08
33	0,04	0,37	146,00	0,04	0,08

Fuente: Elaboración propia

El valor mínimo para el tiempo de concentración se adoptó en 5 min (0,08 hr), debido a que el nivel de incertidumbre asociado a este parámetro aumenta considerablemente para tiempos muy pequeños.

Con esta información se procede a calcular los caudales de crecidas asociados a períodos de retorno de 5,10, 20, 50, 100, 200, 1000 y 10.000 años, mediante las fórmulas propuestas por el Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica (DGA, 1995).

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. Fórmula Racional

La Fórmula Racional permite estimar caudales de crecida en zonas sin información fluviométrica, corresponde a una de las expresiones más utilizadas en estudios hidrológicos. Se define de la siguiente forma:

$$Q = \frac{C\ i\ A}{3{,}6}\ (\frac{m^3}{s})$$

Donde:

Q = caudal de escorrentía directa asociado al periodo de retorno T (m^3/s)

T = periodo de retorno evento hidrológico (años)

i = intensidad de precipitación asociada al periodo de retorno T (mm/h)

A = área pluvial aportante a la cuenca (km^2)

C = coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía se estimó a partir de los caudales de crecidas adoptados en el apartado 4.3.8 del Capítulo 4, correspondientes al punto de ubicación de la alternativa seleccionada. Se usó la Fórmula Racional para despejar el coeficiente *C* (desconocido para la cuenca) usando la información de *Q* adoptada por el análisis de caudales de crecidas, el valor de "*i*" en el tiempo de concentración obtenido a partir de los valores de intensidad máxima en 24 horas presentados (en el Cuadro 4.3.3.2-2 del Capítulo 4) para las estaciones pluviométricas utilizadas en la cuenca de las alternativa seleccionada. De este modo se obtuvieron valores de *C* estimados para la cuenca y para distintos períodos de retorno, los cuales fueron replicados en el presente análisis en cada quebrada ya que la tipología de suelos y coberturas se mantiene relativamente constante.

Se optó por estimar el coeficiente de escorrentía de este modo ya que el manual de la DGA (1995) no presenta valores propuestos en esta región y al replicar aquellos *C* propuestos para la Región de Atacama (la más cercana) los caudales resultantes fueron demasiado bajos, muy lejanos al orden de magnitud esperado, de acuerdo a la apreciación general del terreno y a la información proporcionada por los lugareños. En el Cuadro 6.5.2-1 se muestran los coeficientes de escorrentía resultantes utilizados.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 6.5.2-1
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

T	5	10	50	100	200	1.000	10.000
Qmax (m3/s)	9,40	24,40	69,90	89,00	114,10	173,00	270,10
Pp max 24 h (Cuenca Alt.) (mm)	26,50	33,10	48,44	55,30	62,34	79,69	107,30
I max en tc (Cuenca Alt.) (mm/h)	3,16	3,95	5,78	6,60	7,44	9,51	12,80
Área (Cuenca Alt.) (km^2)							205
Coef Esc. C	0,05	0,11	0,21	0,24	0,27	0,32	0,37

Fuente: Elaboración propia

Para estimar la intensidad máxima de precipitación asociadas al tiempo de concentración y al periodo de retorno se utilizó la expresión de Grunsky, que se define como:

$$i_{tc} = \frac{Pp24hrs}{24} \sqrt{\frac{24}{tc}}$$

Donde:

I_{tc} = Intensidad máxima asociada a un periodo de retorno (mm/h)

Pp24hrs = Precipitación Máx. en 24 h asociada a un periodo de retorno T, (mm)

t_c = tiempo de concentración (h)

Para los valores de precipitación máxima en 24 horas asociadas a distintos períodos de retorno fueron usados los valores obtenidos en el estudio de precipitaciones en las estaciones representativas de cada zona de acuerdo a los polígonos de Thiessen, las cuales se pueden ver en el Cuadro 4.3.3.2-1 y 4.3.3.2-2 del Capítulo 4. De este modo, las quebradas de la 1 a la 10, fueron representadas por la Estación pluviométrica Esquiña, mientras que las quebradas de la 11 a la 33 fueron representadas por la estación Codpa.

En el Cuadro 6.5.2-2 se muestran los valores de intensidad máxima en el tiempo de concentración obtenidos para cada quebrada.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 6.5.2-2
INTENSIDAD MÁXIMA EN TC ASOCIADA A DISTINTOS T (mm/h)

Quebrada	Período de Retorno T (años)						
	5	10	50	100	200	1.000	10.000
1	9,8	11,6	15,1	16,3	17,5	19,9	22,8
2	9,8	11,6	15,1	16,3	17,5	19,9	22,8
3	9,8	11,6	15,1	16,3	17,5	19,9	22,8
4	9,3	11,0	14,3	15,5	16,6	18,9	21,7
5	3,6	4,3	5,6	6,0	6,5	7,3	8,4
6	9,8	11,6	15,1	16,3	17,5	19,9	22,8
7	9,8	11,6	15,1	16,3	17,5	19,9	22,8
8	9,5	11,3	14,6	15,8	16,9	19,3	22,2
9	4,3	5,2	6,7	7,2	7,8	8,8	10,2
10	9,8	11,6	15,1	16,3	17,5	19,9	22,8
11	4,8	6,5	10,3	11,9	13,4	17,0	22,1
12	5,1	6,8	10,8	12,4	14,0	17,8	23,1
13	4,2	5,6	8,9	10,2	11,6	14,7	19,0
14	3,7	5,0	7,8	9,0	10,2	12,9	16,8
15	3,9	5,3	8,4	9,6	10,9	13,8	17,9
16	5,8	7,8	12,3	14,1	16,0	20,3	26,3
17	2,8	3,7	5,9	6,8	7,7	9,7	12,6
18	4,6	6,2	9,7	11,2	12,7	16,1	20,9
19	4,3	5,7	9,1	10,4	11,8	15,0	19,4
20	5,7	7,7	12,1	13,9	15,7	20,0	25,9
21	5,6	7,6	11,9	13,8	15,5	19,7	25,6
22	2,0	2,7	4,2	4,8	5,5	6,9	9,0
23	6,7	9,1	14,3	16,5	18,6	23,6	30,6
24	4,6	6,1	9,7	11,2	12,6	16,0	20,8
25	6,7	9,1	14,3	16,5	18,6	23,6	30,6
26	3,5	4,8	7,5	8,7	9,8	12,5	16,2
27	6,7	9,1	14,3	16,5	18,6	23,6	30,6
28	6,7	9,1	14,3	16,5	18,6	23,6	30,6
29	6,7	9,1	14,3	16,5	18,6	23,6	30,6
30	6,7	9,1	14,3	16,5	18,6	23,6	30,6
31	1,7	2,3	3,6	4,2	4,7	6,0	7,8
32	6,7	9,1	14,3	16,5	18,6	23,6	30,6
33	6,7	9,1	14,3	16,5	18,6	23,6	30,6

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 6.5.2-3 se presentan los valores de caudal máximo obtenidos mediante la Fórmula Racional para los distintos cruces de quebradas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 6.5.2-3
QMÁX. EN PUNTOS DE QUEBRADA SEGÚN FÓRMULA RACIONAL (m^3/s)

Quebrada	Período de Retorno T (años)						
	5	10	50	100	200	1.000	10.000
1	0,01	0,03	0,08	0,09	0,12	0,16	0,21
2	0,02	0,05	0,12	0,15	0,18	0,24	0,33
3	0,01	0,02	0,06	0,07	0,08	0,11	0,15
4	0,04	0,11	0,27	0,32	0,40	0,53	0,71
5	0,11	0,28	0,71	0,86	1,05	1,41	1,88
6	0,01	0,04	0,09	0,11	0,13	0,18	0,24
7	0,01	0,02	0,05	0,07	0,08	0,11	0,14
8	0,06	0,15	0,39	0,47	0,57	0,77	1,03
9	0,15	0,38	0,96	1,16	1,41	1,91	2,54
10	0,04	0,09	0,23	0,28	0,35	0,47	0,62
11	0,03	0,08	0,25	0,33	0,42	0,63	0,95
12	0,03	0,07	0,23	0,29	0,37	0,56	0,85
13	0,04	0,12	0,37	0,48	0,61	0,92	1,38
14	0,05	0,14	0,45	0,58	0,74	1,11	1,67
15	0,06	0,17	0,52	0,67	0,86	1,30	1,95
16	0,02	0,06	0,17	0,22	0,28	0,43	0,64
17	0,10	0,27	0,84	1,08	1,39	2,10	3,15
18	0,05	0,15	0,45	0,58	0,75	1,13	1,70
19	0,03	0,08	0,25	0,32	0,41	0,62	0,93
20	0,03	0,08	0,24	0,30	0,39	0,59	0,88
21	0,03	0,08	0,25	0,32	0,41	0,62	0,94
22	0,20	0,56	1,73	2,23	2,86	4,31	6,47
23	0,02	0,05	0,14	0,18	0,23	0,35	0,52
24	0,03	0,09	0,29	0,37	0,48	0,72	1,09
25	0,01	0,03	0,10	0,13	0,17	0,25	0,38
26	0,08	0,22	0,66	0,85	1,10	1,65	2,48
27	0,02	0,07	0,20	0,26	0,34	0,51	0,76
28	0,02	0,05	0,15	0,19	0,25	0,37	0,56
29	0,00	0,01	0,03	0,04	0,05	0,08	0,12
30	0,01	0,02	0,06	0,08	0,10	0,15	0,23
31	0,40	1,13	3,49	4,49	5,77	8,69	13,06
32	0,01	0,02	0,05	0,06	0,08	0,12	0,19
33	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,09	0,13

Fuente: Elaboración propia

6.5.3. Fórmula de Verni-King

Este método está basado en la fórmula de Verni y King, que relaciona el caudal instantáneo máximo de una crecida con la precipitación diaria máxima y el área pluvial a través de una relación de potencias. La fórmula es la siguiente:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$Q_T = C \cdot 0{,}00615\, P_{24}^{1.24}\, A^{0.88}$$

Donde:

Q_T = caudal de escorrentía directa asociado al periodo de retorno T (m^3/s)

T = periodo de retorno evento hidrológico (años)

P_{24} = precipitación máxima de duración 24 h de periodo de retorno T (mm).

A = área pluvial aportante a la cuenca (km^2)

C = coeficiente de escorrentía

Los parámetros utilizados (C, P_{24}) fueron los mismos que para la Fórmula racional.

En el Cuadro 6.5.3-1 se muestran los valores obtenidos mediante esta metodología para los distintos cruces de quebrada.

Si bien los resultados de esta expresión provienen del ajuste de datos empíricos, se recomienda su uso sólo para periodos de retorno mayores a 50 años, ya que para periodos de retorno bajo el error en la estimación puede ser alto.

CUADRO 6.5.3-1
QMÁX. EN PUNTOS DE QUEBRADA SEGÚN FORMULA DE VERNI KING (m^3/s)

Quebrada	Período de Retorno T (años)						
	5	10	50	100	200	1.000	10.000
1	0,001	0,003	0,007	0,008	0,010	0,015	0,020
2	0,001	0,004	0,010	0,012	0,016	0,022	0,030
3	0,001	0,002	0,005	0,006	0,008	0,011	0,015
4	0,003	0,008	0,021	0,026	0,032	0,045	0,062
5	0,016	0,042	0,114	0,140	0,174	0,243	0,335
6	0,001	0,003	0,008	0,009	0,012	0,016	0,023
7	0,001	0,002	0,005	0,006	0,008	0,010	0,014
8	0,004	0,011	0,029	0,035	0,044	0,061	0,084
9	0,018	0,047	0,126	0,155	0,193	0,268	0,370
10	0,003	0,007	0,018	0,022	0,027	0,038	0,053
11	0,002	0,007	0,025	0,033	0,044	0,070	0,113
12	0,002	0,006	0,022	0,029	0,039	0,061	0,098
13	0,004	0,012	0,040	0,053	0,070	0,112	0,179
14	0,005	0,015	0,053	0,070	0,093	0,148	0,237
15	0,006	0,017	0,057	0,076	0,101	0,160	0,257
16	0,001	0,004	0,015	0,020	0,027	0,043	0,069
17	0,011	0,034	0,119	0,158	0,209	0,333	0,532
18	0,004	0,013	0,044	0,059	0,078	0,124	0,198
19	0,003	0,008	0,028	0,037	0,049	0,078	0,125
20	0,002	0,006	0,021	0,027	0,036	0,058	0,092

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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
QMÁX. EN PUNTOS DE QUEBRADA SEGÚN FORMULA DE VERNI KING (m^3/s)

Quebrada	Período de Retorno T (años)						
	5	10	50	100	200	1.000	10.000
21	0,002	0,006	0,022	0,029	0,038	0,061	0,098
22	0,029	0,087	0,301	0,400	0,529	0,844	1,350
23	0,001	0,003	0,011	0,015	0,020	0,031	0,050
24	0,003	0,009	0,030	0,040	0,053	0,084	0,134
25	0,001	0,002	0,008	0,011	0,015	0,024	0,038
26	0,007	0,022	0,077	0,103	0,136	0,217	0,347
27	0,002	0,005	0,016	0,021	0,027	0,044	0,070
28	0,001	0,003	0,012	0,016	0,021	0,033	0,053
29	0,000	0,001	0,003	0,004	0,006	0,009	0,014
30	0,001	0,002	0,005	0,007	0,009	0,015	0,024
31	0,061	0,183	0,631	0,840	1,110	1,771	2,833
32	0,000	0,001	0,005	0,006	0,008	0,013	0,020
33	0,000	0,001	0,003	0,004	0,006	0,009	0,015

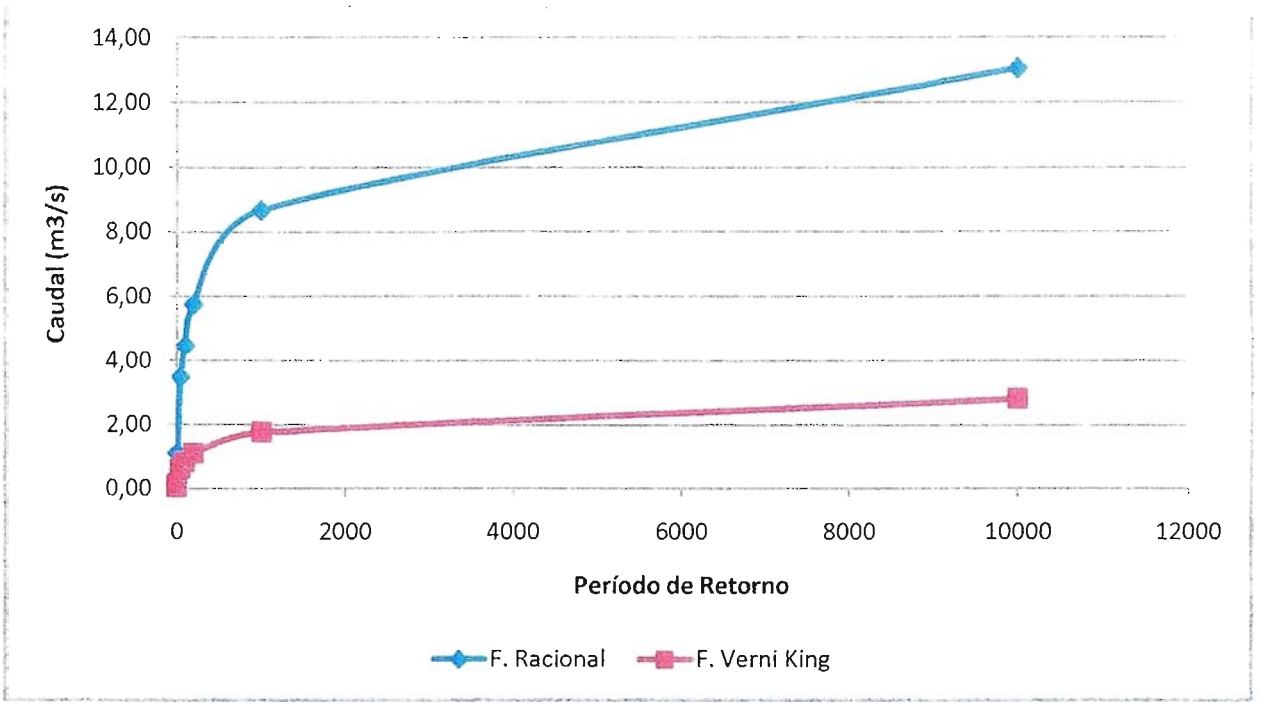
Fuente: Elaboración propia

6.5.4. Conclusión Sobre Método Adoptado

Al observar los resultados obtenidos por ambos métodos se observan diferencias considerables, lo cual no permite usar indistintamente cualquiera de ellos. La Figura 6.5.4-1 muestra las diferencias entre los métodos para la quebrada de mayor tamaño (Quebrada 31) que posee una superficie de 16 km^2 y presenta particular importancia ya que sus aguas descargan al río Vítor a través del poblado de Codpa.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 6.5.4-1
COMPARACIÓN ENTRE AMBOS MÉTODOS PARA QUEBRADA 31



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo observado en los resultados, y a la apreciación y conocimiento del terreno, se concluye que el orden de magnitud de los caudales obtenidos por la **Fórmula Racional** se ajusta mejor a lo esperado en la realidad que los obtenidos por Verni King. Los cálculos detallados del método empleado se incluyen en el Anexo 6-6.

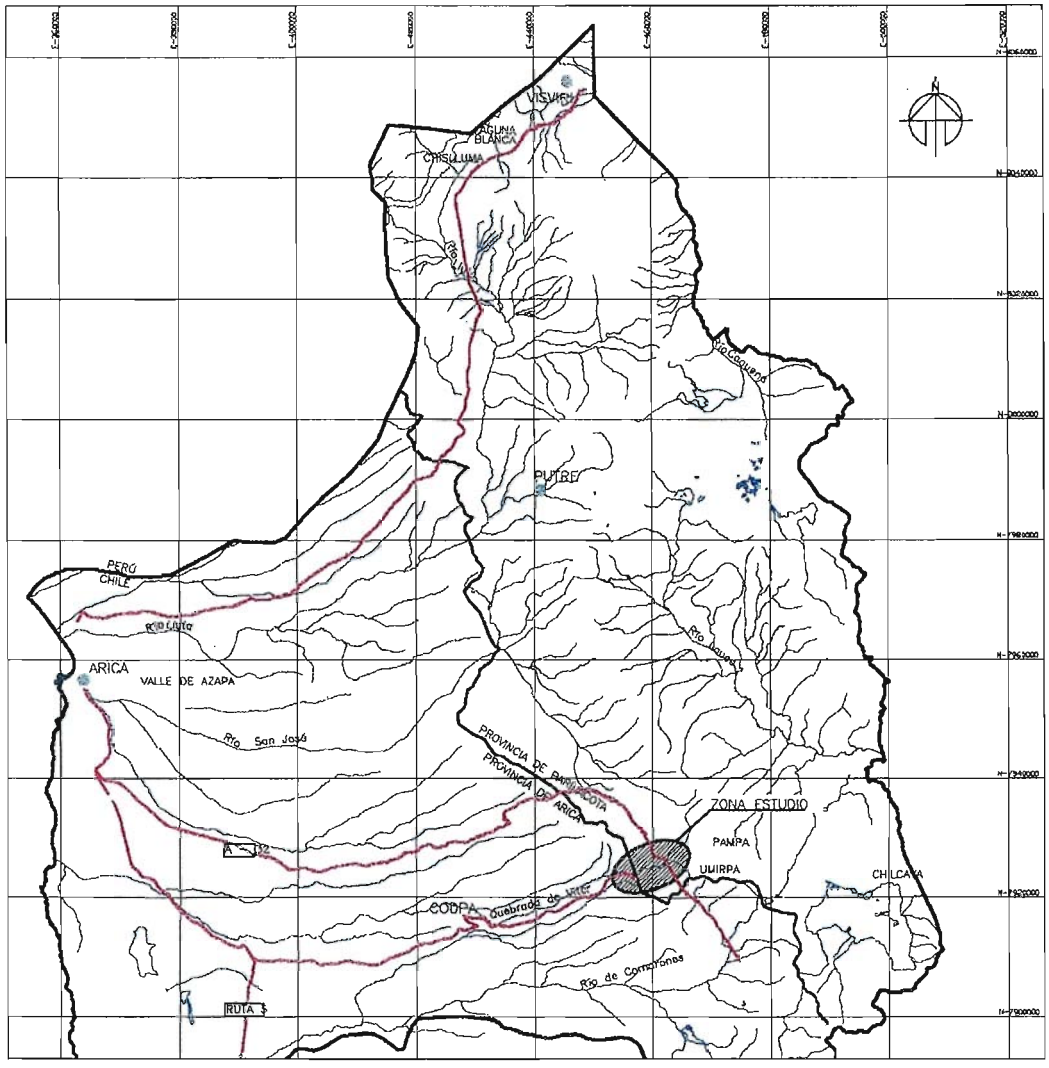
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6.6. ESTUDIO GEOFÍSICO

6.6.1. Introducción

El presente informe da a conocer resultados del estudio geofísico realizado en la alternativa seleccionada del Proyecto Embalse Umirpa, XV Región. La Figura 6.6.1-1 muestra en forma aproximada la ubicación del área estudiada.

FIGURA 6.6.1-1
UBICACIÓN GENERAL ÁREA DE ESTUDIO ESCALA 1:200.000

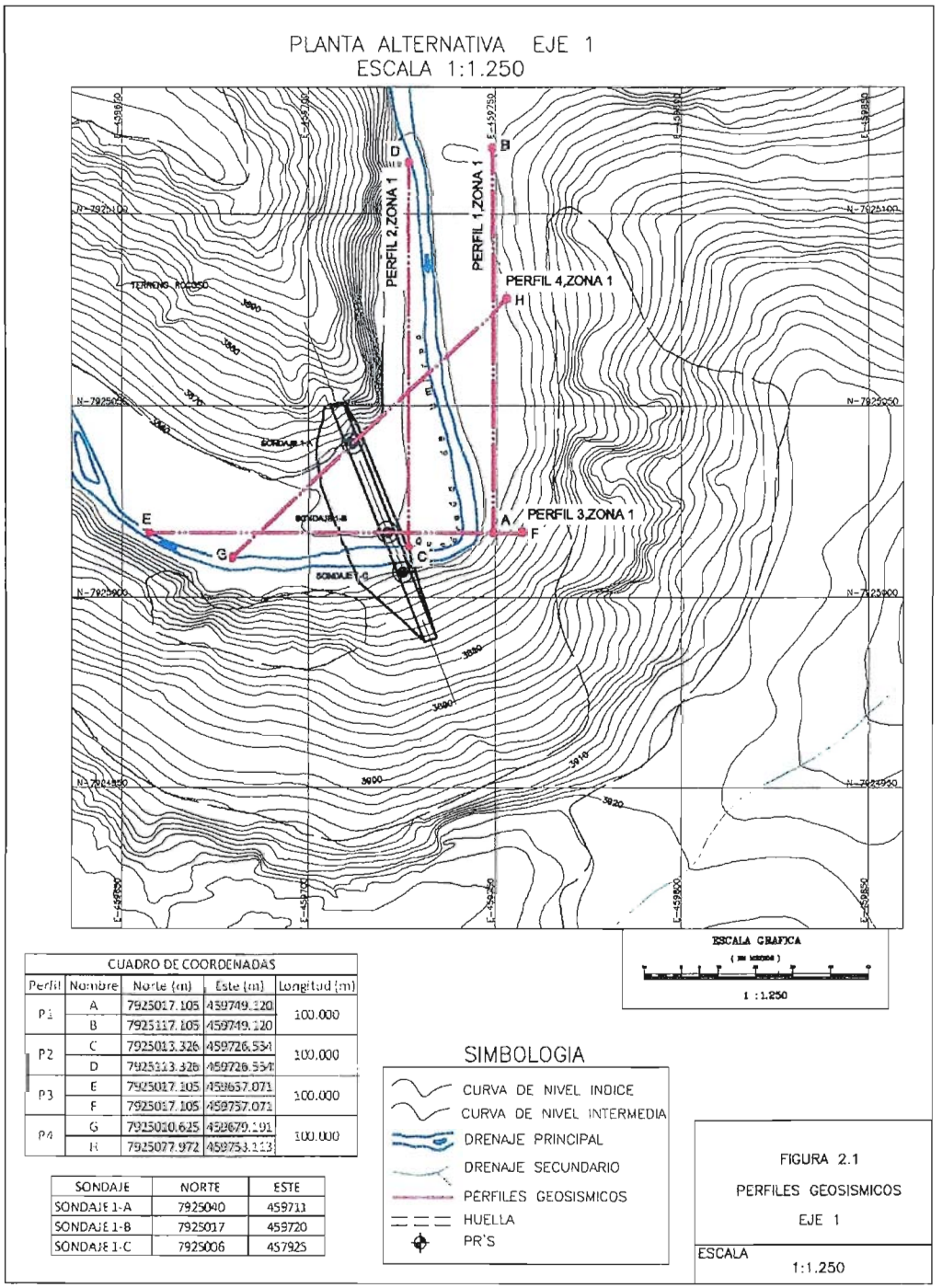


Fuente: SEGMI

El objetivo de la investigación fue determinar la morfología del basamento subterráneo y las características estratigráficas de los suelos en la alternativa seleccionada. Para ello se utilizó el método sísmico de refracción en dicha alternativa.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 6.6.1-2
PLANTA ALTERNATIVA SELECCIONADA



CUADRO DE COORDENADAS

Perfil	Nombre	Norte (m)	Este (m)	Longitud (m)
P1	A	7925017.105	459749.120	100.000
	B	7925117.105	459749.120	
P2	C	7925013.326	459726.534	100.000
	D	7925113.326	459726.534	
P3	E	7925017.105	459657.071	100.000
	F	7925017.105	459757.071	
P4	G	7925010.625	459679.191	100.000
	H	7925077.972	459753.113	

SONDAJE	NORTE	ESTE
SONDAJE 1-A	7925040	459711
SONDAJE 1-B	7925017	459720
SONDAJE 1-C	7925006	457925

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

6.6.2. 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%.

En general 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 velocidades reales y espesores de las capas. Este cálculo está programado para ser efectuado digitalmente permitiendo analizar un gran número de casos posibles.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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 interfaces determinadas y no son por lo tanto, necesariamente verticales.

6.6.3. Trabajo de Terreno

Los trabajos de terreno se efectuaron entre los días 6 y 7 de Junio del 2012, en él participaron el señor Luis Arrau quien indicó la ubicación de las experiencias sísmicas, Manuel Araneda, geofísico y un ayudante para la operación logística de terreno. Se realizaron en total 4 perfiles en la alternativa seleccionada.

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 cps para el registro de señales sísmicas. La generación de los pulsos sísmicos fue mediante golpes controlados por un cristal piezoeléctrico adosado en el martillo.

Las Fotografíagrafías anexas muestran diversas etapas del estudio realizado en terreno.

6.6.4. Resultados y Conclusiones

Los resultados de la interpretación de los perfiles sísmicos de refracción se pueden observar en las Figuras 6.6.4-1 a 6.6.4-13. En estas figuras se muestran los gráficos tiempo-distancia que son el reflejo de las configuraciones utilizadas en terreno.

Cada sección muestra las capas o estratos calculados y las velocidades reales de las ondas con sus respectivos espesores. El Cuadro 6.6.4-1 muestra un resumen de estos resultados.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 6.6.4-1
RESUMEN DE RESULTADOS ALTERNATIVA SELECCIONADA

	Perfil	E~1erest. m	Veloc. m/seg	E~2doest. m	Veloc. m/seg	Prof~3erest. m	Veloc. m/seg
Alternativa Seleccionada	1, Figura 3	2	1250	>2	4140		
	2, Figura 4	3	1650	>3	4870		
	3, Figura 5	2 - 3	560	>2 - 3	4170		
	4, Figura 6	1 - 2	800	4 - 6	2600	>6 - 7	4650

E = espesor est= estrato Veloc = velocidad Prof= profundidad
Fuente: SEGMI

Para caracterizar los materiales del subsuelo en cuanto a su calidad geotécnica se utilizó una aproximación a la información inédita obtenida en el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, Cuadro 6.6.4-2

CUADRO 6.6.4-2
RESUMEN DE RESULTADOS

Vp m/seg	Tipo de Material
400 - 1000	Suelo superficial, finos, arenas, vegetal y otros
1000 - 2500	Roca meteorizada a suelos compactos
2500 - 2900	Roca meteorizada a rocas sanas
>2900	Rocas sanas
----------	Límite de penetración de la onda sísmica de acuerdo a la longitud del perfil sísmico

Fuente: SEGMI

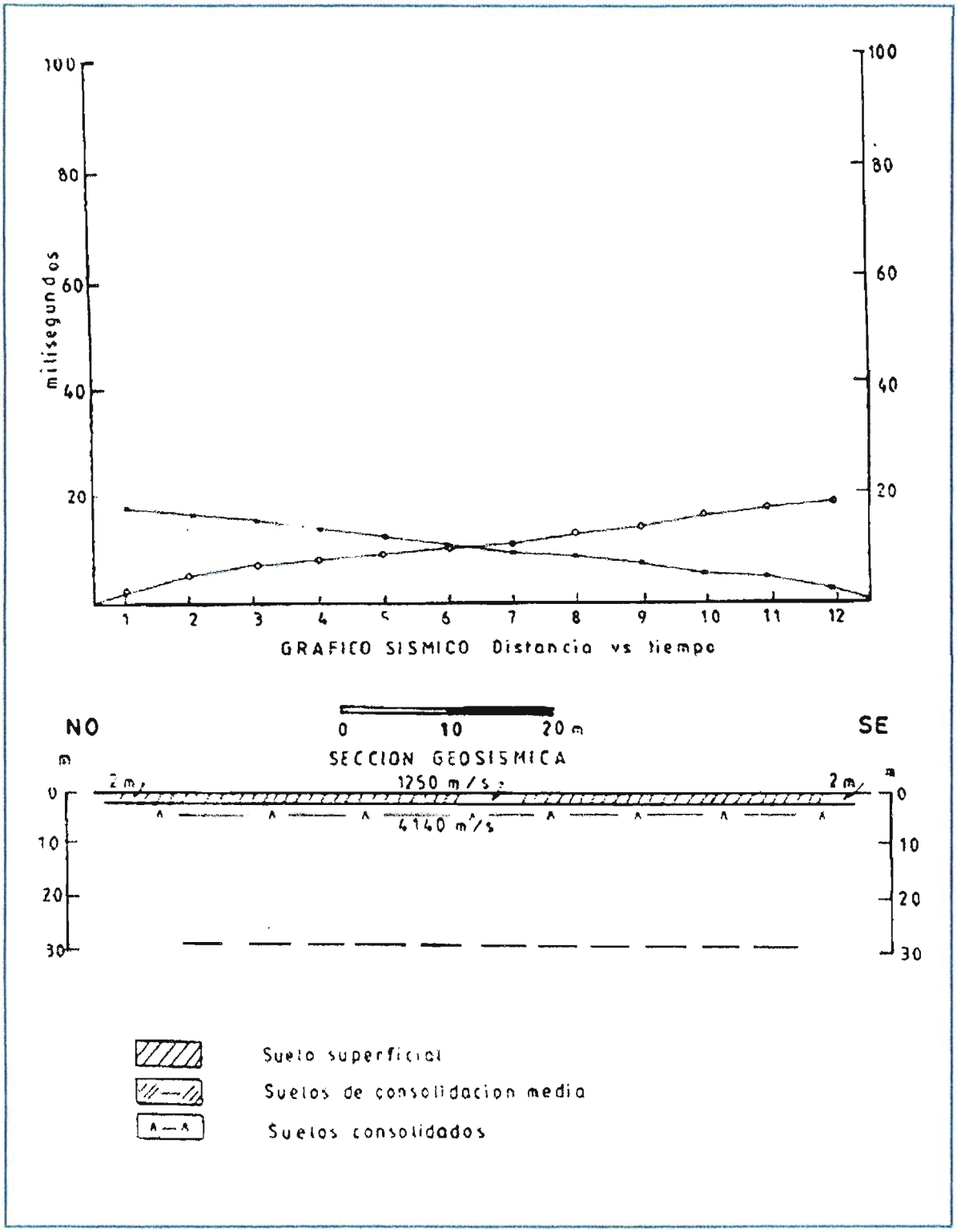
Las velocidades de rocas y suelos pueden variar en un rango amplio, estas variaciones dependen fundamentalmente del grado de meteorización en la que se encuentren.

Los materiales sedimentarios naturales como gravas, arenas, escombros de falda u otros también presentan un rango de velocidades amplio, los cuales dependerán fundamentalmente de su grado de consolidación, tamaño del grano, contenido de agua y edad geológica. Estos pueden variar aproximadamente entre 300 a 2600 m/seg.

En la Alternativa seleccionada las velocidades encontradas en el segundo estrato de los Perfiles 1, 2 y 3 corresponderían a roca de alta calidad geotécnica. El segundo estrato del Perfil 4 correspondería a rocas de regular calidad geotécnica, 2600 m/seg y el tercer estrato calculado representa la roca sana de alta calidad geotécnica.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

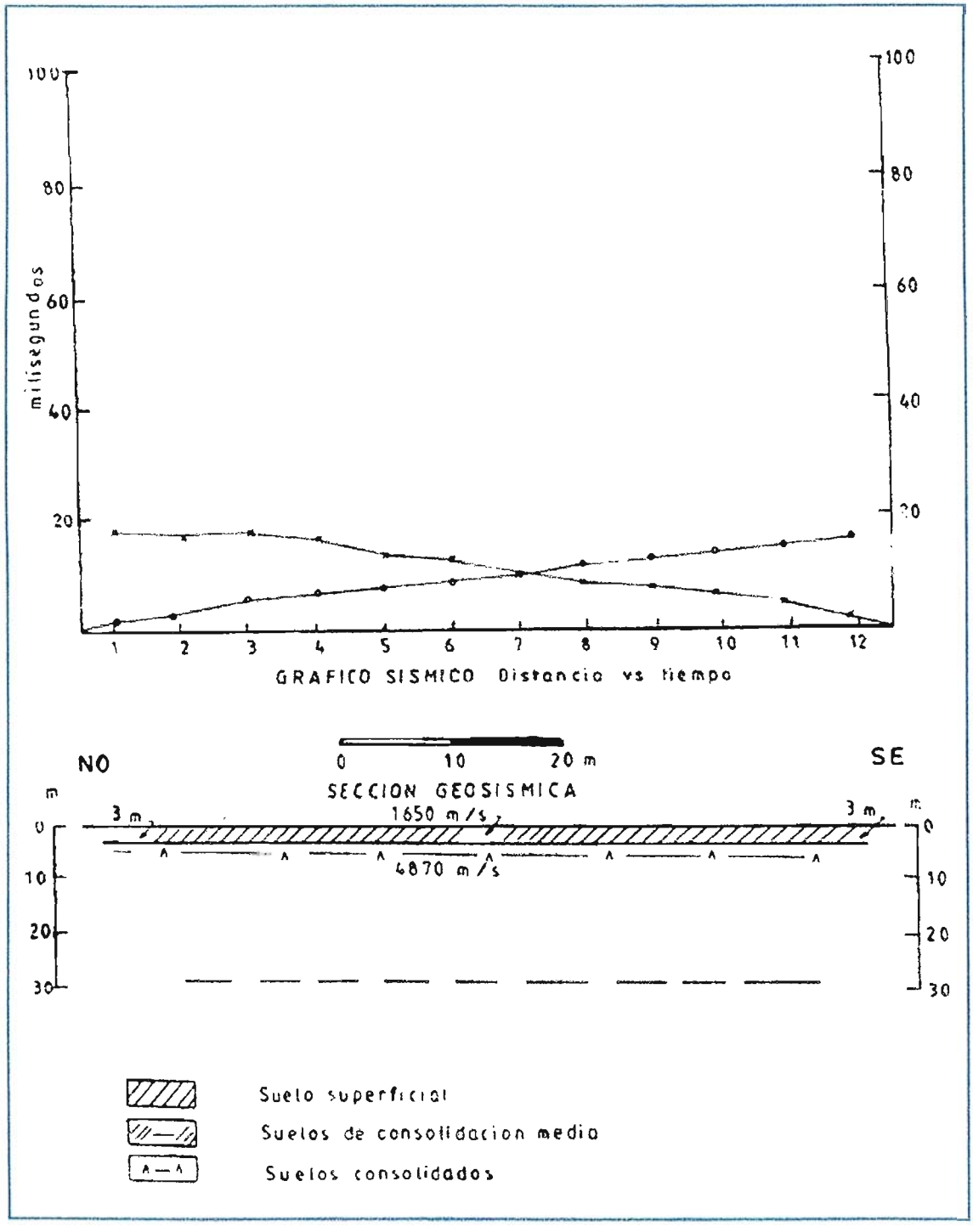
FIGURA 6.6.4-1
PERFIL 1



Fuente: SEGMI

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

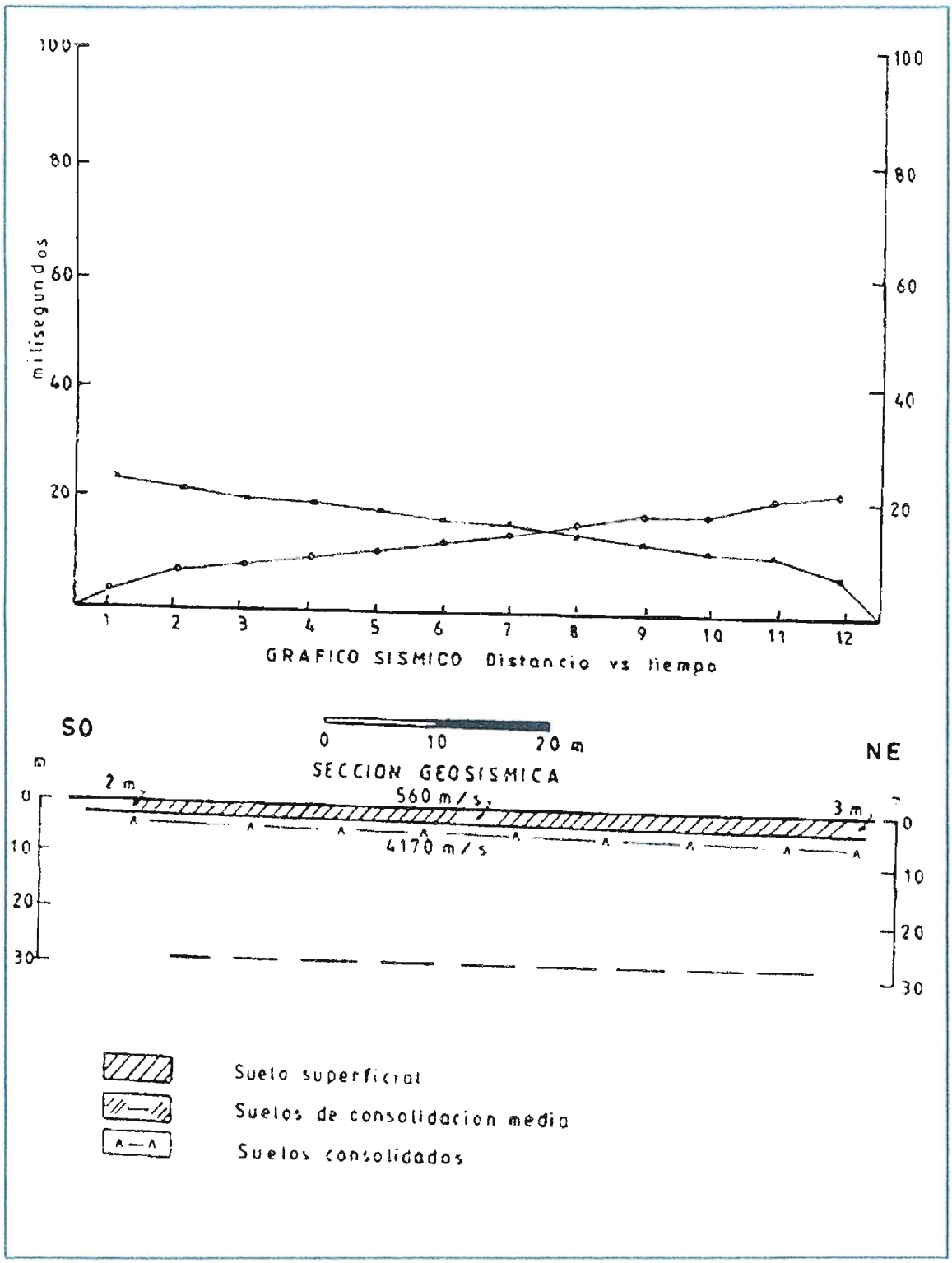
FIGURA 6.6.4-2
PERFIL 2



Fuente: SEGMI

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

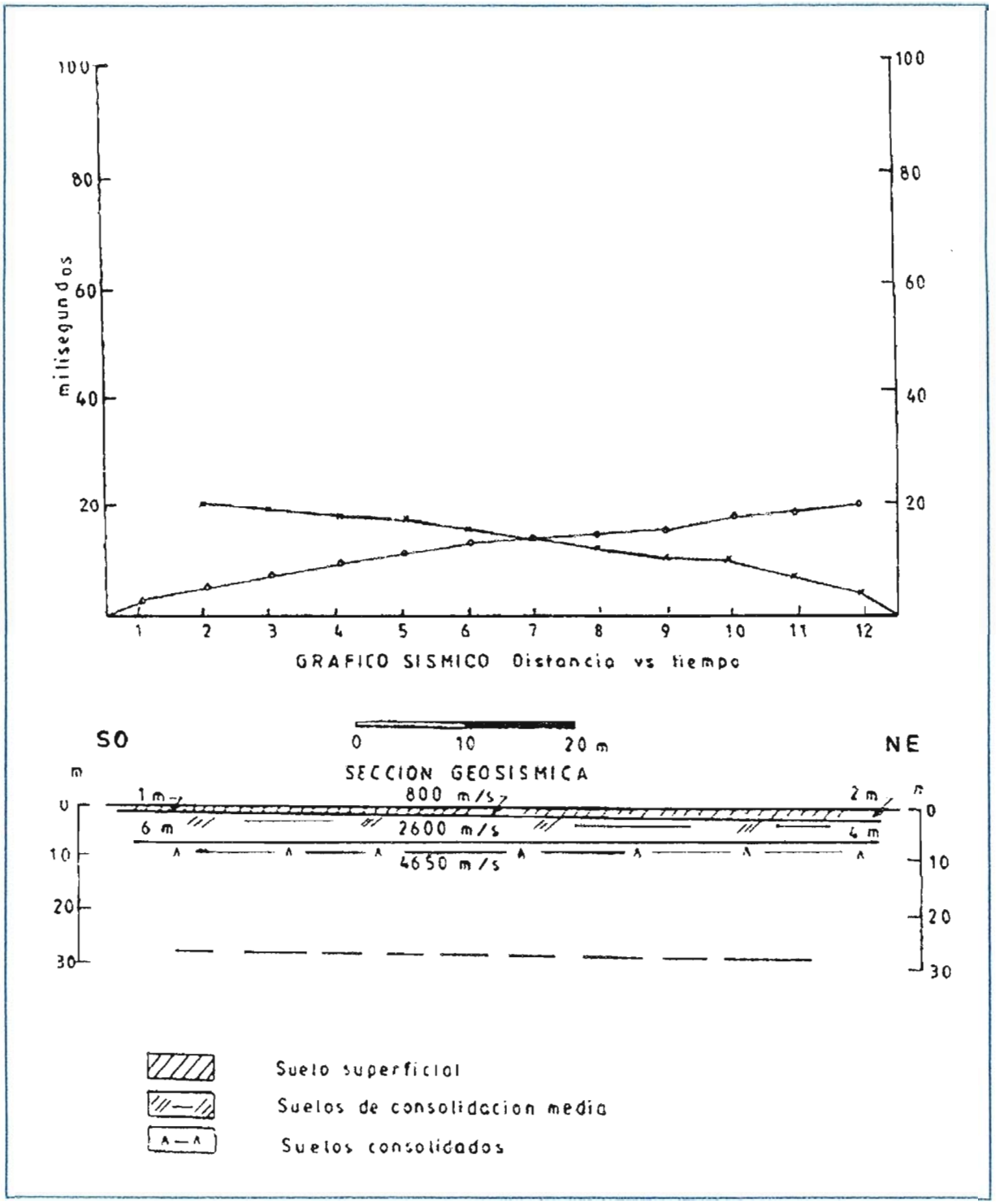
FIGURA 6.6.4-3
PERFIL 3



Fuente: SEGMI

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 6.6.4-4
PERFIL 4



Fuente: SEGMI

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7. ESTUDIO AGROECONÓMICO

7.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta un resumen de los resultados del estudio agroeconómico realizado. Los resultados completos se presentan en el Volumen 2 de este estudio.

7.2. ÁREA DE INFLUENCIA Y SECTORES DE RIEGO

El área de influencia está constituida por la Quebrada de Vítor, la que para el presente estudio se subdividió de manera inicial en cinco sectores, pero posteriormente se descartó del estudio la zona de Caleta Vítor (Sector 4), quedando finalmente los sectores 1,2, 2A y 3.

- Sector 1: Corresponde a la parte alta del valle, de difícil acceso y discontinuidad en relación a los suelos regados. Se ubica al oriente de la localidad de Cala Cala y Chitita, partiendo en la localidad de Corralones hasta Incauta.
- Sector 2: Corresponde a la quebrada de Codpa, desde Cala Cala por el oriente hasta Ofragía por el poniente.
- Sector 2A: Este sector corresponde a un estrecho, profundo y sinuoso cañón donde se ubican algunos poblados como Pintatani, Caunza y Chaqui, todos de propiedad de una única comunidad de origen Aymara.
- Sector 3: Corresponde al Valle de Chaca, ubicado en las inmediaciones de la Ruta 5 Norte.

7.3. ASPECTOS AGROLÓGICOS

El reconocimiento más detallado de los suelos se encuentra presente en Estudio Agronómico Básico de los Valles Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, efectuado para la Dirección de Obras Hidráulicas por la empresa REG Ingenieros Consultores en el año 2002.

Utilizando como base dicho estudio, la presente consultoría realizó su actualización. Para estos efectos, entre los días 5 y 10 de Enero de 2012, se llevó a cabo un recorrido de toda el área comprendida entre Caleta Vítor, por el oeste, hasta Codpa y aguas arriba, hasta las localidades de Incauta por el oriente. Cabe señalar que hasta Chitita y Cala Cala el área es uniforme, posterior a esta localidad desde la zona de Corralones hasta Incauta el valle se angosta y sólo se presentan pequeños sectores con terrazas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Aguas abajo de Codpa, el valle también se angosta y se apreció que en los meandros se producen pequeños sectores planos que por su extensión no tienen representación cartográfica.

Al poniente, desde Cachicoca hasta Chaca, se pasa por Pintatani, Calaunza y Chaqui, en donde el valle presenta en forma segmentada algunos suelos de carácter productivo entre los meandros del río, tal es el caso de Pintatani en donde se cultivan por más de 200 años uvas viníferas de la cepa País.

En el sector de Chaca se aprecian sectores en donde hay plantaciones de mango, guayabo y olivos, además hay plantaciones de tomates y maíz semillero, todo esto en pequeñas extensiones.

Desde Chaca hasta Caleta Vítor sólo hay pequeñas propiedades donde se plantan tomates, algunos de estos sitios están abandonados pues, aunque los suelos son aptos para la agricultura, no hay agua de riego suficiente ya que las norias están secas o bien el caudal es muy escaso.

Finalmente, el Cuadro 7.3-1 resume las series existentes en el área del proyecto, junto a sus respectivos parámetros agrológicos.

CUADRO 7.3-1
CARACTERÍSTICAS AGROLÓGICAS TOTAL ÁREA DE ESTUDIO

Serie	Variación	Capacidad de Uso	Categoría Riego	Clase Drenaje	Aptitud Frutal	Unidad Manejo	Superficie ha
AMANTA	AMT-1	IVS	4s	5	D	B	50,74
CHACA	CHC-1	IIs	2s	5	B	A	28,06
EL ARENAL	EAL-1	IIIs	3s	6	C	B	216,13
EL ARENAL	EAL-2	IIs	2s	5	B	A	7,02
EL CRUCE	ECE-1	IIs	2s	5	A	A	32,62
EL CRUCE	ECE-2	IIs	2s	5	B	A	30,3
MEDIAL	MEL-1	IIIs	3s	5	B	A	104,29
MEDIAL	MEL-2	IIs	3s	5	B	A	45,22
MONTIPI	MTP-1	VIs	6	4	E	C	2,88
LA PAMPA	PAM-1	IIIs	4s	6	C	B	24,49
TOCOPI	TOP-1	IIIs	3s	6	C	B	94,79
TOPOR	TPR-1	IVs	4s	5	E	C	36,14
VITOR	VTR-1	IIs	2s	5	B	A	29,71
VITOR	VTR-2	IIs	2s	5	B	A	15,32
SUELO ANTROPICO	TH	IIs	2s	5	B	B	283,1
PIEDMON	PD-1	VII	6	6	E	C	19,22
TERRAZAS CON ROCAS Y PIEDRAS ABUNDANTES	TA-1	VIII	6	6	E	-	8,25
TERRAZAS ARENOSAS Y PEDREGOSAS	TAP	VII	6	6	E	C	40,78
TERRENOS DISECTADOS CON VEG. ARBUSTIVA	TD-1	VIII	6	6	E	-	47,53
MISCELANEO ALUVIAL	MA	VII	6	6	E	C	186,46
MISCELANEO QUEBRADA	MQ	VIII	6	6	E	-	1,66
DUNA	DU	VII	6	6	E	C	51
CAIDA DE TERRAZAS	CAIDA	VIII	6	6	E	-	6,78
ESCARPE	V	VIII	6	6	E	-	37,75
URBANO	UR	-	-	-	-	-	19,51
Total Área de Estudio							1.419,75

Fuente: Actualización Estudio Agronómico Básico de los Valles Lluta, Azapa, Vítor y Camarones.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

7.4. ASPECTOS CLIMÁTICOS

El área específica de estudio está distribuida en cinco zonas agroclimáticas. Los tres primeros distritos están ubicados en la parte más oriental, corresponden al 3.56, 3.54 y al 3.55, definidos por el Mapa Agroclimático de Chile del INIA y comprenden a las localidades ubicadas desde Ofragía y Codpa hasta la localidad de Incauta al oriente. Los otros distritos, ubicados más al occidente, son el 3.442-3.8 y el 3.34, el primero se extiende desde Pintatani hasta Chaca, abarcando el pueblo de Chaca, en tanto que el segundo incluye la Caleta Vítor.

Distrito 3.56:

Se ubica al oriente del área en estudio e inmediatamente al oriente del clima Potrerillos. Los datos agroclimáticos corresponden a la Estación Putre.

La lluvia anual alcanza a 256,6 mm, distribuida principalmente entre los meses de diciembre y abril, coincidentes con el fenómeno conocido como invierno altiplánico.

La aptitud agrícola de esta zona de acuerdo a los antecedentes recopilados en terreno es para producción de alfalfa, arveja verde y, en zonas más protegidas, para algunos frutales sin fines comerciales.

Distrito 3.55:

Se ubica al oriente del clima 3.54 y al poniente del clima 3.56. Los datos agroclimáticos corresponden a la estación Potrerillos.

El régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 11,9°C, con una máxima media de los meses más cálidos (enero y febrero) de 18,4°C y una mínima media del mes más frío (junio) de 4,9°C.

La suma de temperaturas anuales base 10°C es de 744 grados-días. En invierno, el promedio de temperaturas más bajas del mes más frío, oscila entre -10°C y -2,5°C, siendo la máxima media del mes más frío superior a 10°C. En verano, el promedio de las máximas medias de los cuatro meses más cálidos es superior a 17°C. La duración de la estación sin heladas disponible (temperaturas mínimas absolutas medias superiores a 2,0°C) es de 2,5 a 4,5 meses.

La lluvia anual alcanza a 44,1 mm, distribuida principalmente entre los meses de mayo a agosto.

La aptitud agrícola de esta zona es para producción de avena, trigo, cebada, alfalfa y papas, destacando la participación de hortalizas como ajo y choclo.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

Distrito 3.54:

Se ubica al oriente del clima 3.442-3.8 y al poniente del Distrito 3.55. Los datos agroclimáticos corresponden a la estación Refresco.

El régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 17,7°C, con una máxima media del mes más cálido (enero) de 28,4°C y una mínima media del mes más frío (junio) de 5,5°C.

La suma de temperaturas anuales, base 5°C es de 4.629 grados-día; con base 10°C es de 2.800 grados-día. Dado que las temperaturas mínimas medias fluctúan entre 5,5 y 12°C, existen limitaciones para el crecimiento de las plantas de verano entre abril y septiembre.

Las lluvias alcanzan a 12 mm, distribuidas principalmente entre los meses de mayo a julio. La estación seca es de doce meses. Con riego, es apta para arroz, maíz, papa, trigo, cebada, avena, alfalfa, ballica, tréboles, berenjena, tomates, cucurbitáceas, ají, pimentón, porotos, coliflor, etc. Además, es apto para frutales, tales como: cítricos, vides, etc., pero no lo es para frutales con requerimientos de frío. No obstante, en el área de proyecto los pequeños agricultores cultivan diversas especies frutales, entre las que se destacan peras de pascua, manzanas, duraznos y damascos, entre otras.

Distrito 3.442-3.8:

Se ubica a cierta distancia de la costa, en los valles interiores, inmediatamente al poniente del Distrito 3.54. Los datos agroclimáticos corresponden a la estación Copapó.

El régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 18°C, con una máxima media del mes más cálido (febrero) con 30,1°C y una mínima media del mes más frío (julio) de 6,5°C.

La suma de temperaturas anuales, base 5°C, es de 4.700 grados-día; con base 10°C es de 2.900 grados-día. Dado que entre los meses de mayo a septiembre, las temperaturas mínimas medias se encuentran bajo los 10°C, el período de crecimiento de las plantas de verano es de siete meses.

Las lluvias alcanzan a 22 mm anuales, distribuidas principalmente entre los meses de abril y octubre. La estación seca es de doce meses.

Considerando las características hídricas de esta zona agroclimática, no es posible cultivar sin riego. Bajo riego, esta zona es muy favorable para la producción de frutas y vides, en razón a que las temperaturas máximas son mucho más altas y la amplitud diurna mucho más grande, con lo cual se favorece la maduración de los cultivos y se reduce el peligro de muchas enfermedades.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Existen lugares en que las heladas son tan excepcionales que puede cultivarse en pleno invierno, con poco peligro, tomates, zapallitos, pimientos o maíz. También es apta para el cultivo de cereales de invierno, leguminosas de grano, papas, alfalfa y ballicas, etc.

Distrito 3.34

Se encuentra en la costa norte (litoral), en los alrededores de la ciudad de Arica. Los parámetros climáticos disponibles corresponde a la estación Arica.

El régimen término se caracteriza por una temperatura media anual de 19,0°C, con una máxima media del mes más cálido (febrero) de 27,4°C y una mínima media de los meses más fríos (julio y agosto) de 13,1°C. El período libre de heladas es de doce meses. La suma de temperaturas anuales, base 5°C, es de 5.134 grados-días; con base 10°C, es de 3.309 grados-días. Dado que las mínimas medias se mantienen sobre los 10°C, no existen limitaciones para el crecimiento de las plantas por bajas temperaturas.

Las lluvias alcanzan a 1,1 mm, que se distribuyen entre los meses de julio y septiembre. La humedad relativa media anual es de 72%. La estación seca es de doce meses.

Dadas las condiciones agroclimáticas descritas, en este distrito se pueden cultivar una amplia gama de especies. En efecto, con riego, es posible realizar todos los cultivos tradicionales, como papas, maíz, trigo y praderas. Es una región muy importante por su aptitud para cultivos de frutales tropicales y subtropicales, como mangos, pomelos, tangelos, mandarinas, guayabos, paltos, chirimoyos y otros. Pero los frutales con requerimiento de frío no se pueden cultivar. Se caracteriza, además, por su aptitud para la producción de hortalizas muy tempranas o tardías, tales como: tomate, ají, pimentón, zapallo, pepino, melón, choclos, porotos, ajo, etc., tal como ocurre en la actualidad.

De los parámetros agroclimáticos presentados, puede concluirse que son óptimos para una gran gama de cultivos, especialmente frutales de bajo requerimientos de frío, frutales de hoja persistente, cultivos anuales y hortalizas. Así, en esta zona es posible el cultivo de alfalfa, maíz choclo, cebolla, lechuga, melón, porotos verdes y granado, tomate y zapallo, entre otros; en frutales existen posibilidades climáticas para guayabo, mango, naranjo y olivo, entre otros.

7.5. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL AGROPECUARIA

7.5.1. Listado de Agricultores y Estructura de la Propiedad Agrícola

Una vez establecida la sectorización del área de interés, se procedió a confeccionar un listado con los beneficiarios del proyecto.

En base a fuentes secundarias de información se confeccionó el listado predial por sector de riego. Posteriormente, se efectuó la estratificación de la propiedad agrícola por tamaño según la superficie total de cada una de las propiedades. 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 y obtener a partir de ella los Estudios de Casos representativos de cada sector en estudio.

En resumen la estratificación adoptada es la siguiente:

- Estrato 0 a 0,5 ha: Agricultura subfamiliar y de subsistencia
- Estrato 0,51 a 1 ha: Corresponde a unidades familiares pequeñas, con mayor provecho de sus tierras con fines comerciales y de autoconsumo.
- Estrato 1,01 a 5 ha: Predios de tamaño mediano en relación a la zona en estudio. Comprende agricultores que destinan sus predios principalmente a la agricultura comercial en base a hortalizas y frutales.
- Estrato de 5,01 a 10 ha: Predios de tamaño grande en relación a la zona en estudio. En general estos predios destinan la totalidad de sus recursos a una agricultura comercial.
- Estrato mayor de 10 ha: Predios muy grandes en relación a la zona en estudio. Comprende tanto predios de uso y goce privado con alta tecnología, como predios pertenecientes a comunidades indígenas y/o de bienes nacionales, no necesariamente explotados en forma tecnificada y/o intensiva. Cabe señalar que en caso de explotaciones de Bienes Nacionales, éstas se encuentran en calidad de toma por sus actuales agricultores.

En el Cuadro 7.5.1-1 se presenta la estratificación por sector y estratos de tamaño.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 7.5.1-1
DISTRIBUCIÓN PREDIAL POR SECTOR Y ESTRATOS DE TAMAÑO

Sector	Estrato de Tamaño (ha)	Número de Predios	Superficie Total (ha)	Superficie de Riego (ha)			Acciones
				Canal	Pozo	Secano	
1	0 a 0,5	14	2,68	1,47	0,00	1,22	168,00
	0,51 a 1,0	5	3,93	1,93	0,00	2,00	108,00
	1,01 a 5,0	11	28,07	12,55	0,00	15,52	30,00
	5,01 a 10,0	5	35,05	0,75	0,00	34,30	90,00
Total Sector 1		**35**	**69,73**	**16,70**	**0,00**	**53,04**	**396,00**
2	0 a 0,5	308	66,07	35,42	0,00	30,65	4.725,50
	0,51 a 1,0	48	32,85	14,88	0,00	17,97	1.139,14
	1,01 a 5,0	27	43,21	18,08	0,00	25,13	1.001,00
	5,01 a 10,0	1	5,88	0,00	0,00	5,88	0,00
Total Sector 2		**384**	**148,01**	**68,38**	**0,00**	**79,63**	**6.865,64**
2A	> de 10,0	1	80,00	10,00	0,00	70,00	0,00
Total Sector 2A		**1**	**80,00**	**10,00**	**0,00**	**70,00**	**0,00**
3	0,51 a 1,0	2	1,66	0,65	0,65	1,01	19,50
	1,01 a 5,0	27	77,80	21,63	35,98	37,83	572,40
	5,01 a 10,0	5	35,86	9,18	9,70	26,16	186,00
	> de 10,0	6	249,22	56,99	59,99	189,23	649,00
Total Sector 3		**40**	**364,54**	**88,45**	**106,32**	**254,23**	**1.426,90**
Total Área		**460**	**662,28**	**183,53**	**106,32**	**456,90**	**8.688,54**

Fuente: Elaboración propia a partir de DOH (2002) y DGA (1994).

7.5.2. Encuesta Agropecuaria y Estudios de Caso

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 simple de tipo cuantitativa que indaga en cada uno de estos ámbitos. La encuesta abarco 101 predios de los 477 existentes, alcanzando el 21,2% de representatividad.

Luego del análisis de los resultados de la encuesta simple se realizó un Estudio de Caso, el que tiene por finalidad ahondar en los aspectos técnicos de los distintos rubros productivos del área de estudio, identificando en forma precisa todas las labores, insumos y productos que se obtienen en la agricultura y ganadería, y los costos asociados, para finalmente confeccionar las fichas técnico-económicas de cultivo, elementos claves para la evaluación posterior de los beneficios del proyecto. Se realizaron 19 estudios de caso que se relacionan directamente con los cultivos, contemplando los distintos niveles de rendimiento de los mismos, presentes en la zona de estudio.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.5.3. Resultados Situación Actual Agropecuaria

La encuesta agropecuaria y los estudios de caso son 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, ha servido para determinar los predios promedio para la caracterización económica (y posterior evaluación económica del proyecto). El uso del suelo de la Situación Actual (Cuadro 7.7.1-1), se obtiene de la expansión de los resultados de la encuesta simple. En total se contemplan 249,7 ha regadas, las que pueden llegar a 407,2 ha si se considera el Sector 4 correspondiente a la Caleta Vítor.

Finalmente, para determinar los beneficios económicos se han calculado los costos indirectos y gastos generales para cada estrato y nivel tecnológico, abarcando diversos ámbitos, tales como: el pago de contribuciones, pago por servicios de mantenimientos de canales, electricidad, movilización, entre otros (Cuadro 7.7.2-1).

7.6. SITUACIÓN ACTUAL OPTIMIZADA

La situación actual optimizada, que sirve de base para la evaluación económica del proyecto, se ha definido como aquella resultante de un conjunto de acciones tendientes a efectuar cambios en la actividad agropecuaria del área, sin la realización de las obras planteadas en el proyecto de riego. Este proceso será planteado y desarrollado dentro de un Programa de Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica orientado principalmente a producir cambios de conducta por parte de los agricultores de nivel tecnológico y empresarial bajo y medio.

Se debe señalar que la situación actual mejorada u optimizada consiste en un mejoramiento de la situación actual con recursos que no superan el 5% de las inversiones efectuadas en la situación con proyecto.

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. Esto produce aumento en los rendimientos de los cultivos anuales, hortalizas y frutales.
- Mejoramiento en la capacidad empresarial de los agricultores
- 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, principalmente por la vía de la organización de ellos para efectuar labores de acopio, transporte y venta de productos.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Las acciones mencionadas anteriormente, parten del supuesto que se conserve la estructura de cultivos de situación actual.

Por otra parte, se espera que se produzcan 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.

Cabe señalar que se ha considerado mejorías en las eficiencias de riego, debido básicamente a una mejor distribución del agua de riego y a la oportunidad en el uso de ella. Estas mejoras en la eficiencia de riego se efectúan en todos los cultivos.

Los incrementos productivos entre situación actual y optimizada son conservadores para la realidad del área, incluso en algunos rubros los rendimientos no sufrieron modificación entre ambas situaciones, por considerarse que eran adecuados.

En aquellos casos en que se cultiva tomate bajo invernadero y uva de mesa, debido a que se realizan con un adecuado nivel tecnológico, no se consideraron cambios en situación optimizada.

Finalmente, un aspecto importante a destacar es que no se ha considerado un cambio en la estructura de cultivos ni de los costos indirectos con respecto a lo definido en la situación actual.

7.7. SITUACIÓN AGROPECUARIA FUTURA O CON PROYECTO

7.7.1. Caracterización Productiva

La situación futura o con proyecto corresponde al mejoramiento de las condiciones actuales que enfrenta el área en estudio por medio de la ejecución y construcción de obras civiles, que en este caso específico se producen por la construcción del embalse Umirpa.

El área de estudio cuenta con recursos de suelo y clima, particularmente apropiados para una agricultura intensiva basada en una explotación amplia de cultivos, tales como: frutales de hoja perenne y caduca, parronales y vides viníferas y hortalizas.

Para potenciar una adecuada utilización de los recursos disponibles, es necesario previamente mejorar la seguridad de riego, permitiendo de esta forma satisfacer los requerimientos hídricos de las diversas especies asignadas en el área de estudio.

Se debe señalar que las especies frutales asignadas corresponden a las que actualmente existen en el área, tales como guayabos, mangos, limoneros, olivos y uva de mesa, además de la vid vinífera cepa País. Además de los frutales, se ha intensificado el cultivo de hortalizas, especialmente en base a tomate, ají, arveja, melón, morrón, cebolla, choclo, porotos verde y granado y zapallos italianos.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el caso de los predios ubicados en el sector 1, aguas arriba de la localidad de Chitita, sólo se ha potenciado el cultivo de arveja, la cual se da en condiciones adecuadas al clima imperante, el cual limita el resto de los cultivos asignados.

En el sector 2, correspondiente al área de Codpa – Ofragía, se ha potenciado el cultivo de hortalizas con riego presurizado. Al respecto y debido al tamaño reducido de las explotaciones se ha asignado, en el caso del tomate, el de aire libre y no el con mallas antiáfidos. En el estrato de mayor tamaño, sobre 5 ha, debido a que en la actualidad se encuentra sin uso productivo, se ha intensificado su uso con especies frutícolas.

En el sector 2A, correspondiente a Pintatani, Caunza y Chaqui, se ha potenciado la uva vinífera cepa País para la producción del vino Pintatani, famoso en la zona, además del cultivo de hortalizas con riego presurizado. En relación a las hortalizas, se ha asignado tomate con malla antiáfidos.

Finalmente, en el sector 3, de Chaca, se ha potenciado especialmente en base a frutales y hortalizas. Dentro de las hortalizas, destaca el tomate con malla antiáfidos, el cual ya está implementado en aquellos predios de mayor capacidad tecnológica y empresarial.

De esta forma se espera que las mejorías de la situación futura, en relación a los márgenes, se concreten en un plazo no superior a los dieciséis años en aquellos predios de nivel medio a alto y en un plazo de dieciocho en predios de nivel técnico bajo y medio-bajo. Lo anterior, además del período de establecimiento y de puesta en riego, considera la curva natural de producción de los frutales asociada a la edad y que contempla distintos costos e ingresos, según su entrada en producción y período de estabilización.

Los criterios de desarrollo que están presentes en la determinación de la Situación Con Proyecto se han basado íntegramente en experiencias locales y en las actuales perspectivas agroeconómicas debido al proyecto de mejoramiento y unificación de los canales.

La estructura de uso futuro del suelo se planteó suponiendo que se mantendrán los mismos factores y prioridades que definen el uso actual de la tierra, es decir, el uso de la tierra se adaptará a las condiciones hidrológicas esperadas y a la seguridad de riego asociada, información que se presenta en el Cuadro 7.7.1-1, en comparación con el uso del suelo de la Situación Actual.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 7.7.1-1
COMPARACIÓN USO DEL SUELO ACTUAL Y FUTURO
TOTAL ÁREA DE ESTUDIO

Rubro Productivo		Comparación de Superficies (ha)			
		S. Actual	S. Futura	Diferencia	
		ha	ha	ha	%
RIEGO					
Hortalizas	Ají	0,062	5,166	5,104	99,00%
	Arveja	5,800	10,673	4,873	46,00%
	Cebolla	4,336	16,172	11,836	73,00%
	Choclo	14,603	30,145	15,542	52,00%
	Lechuga	0,914	18,113	17,199	95,00%
	Melón	1,484	20,994	19,510	93,00%
	Poroto Granado	2,600	17,786	15,186	85,00%
	Poroto Verde	0,663	8,410	7,747	92,00%
	Tomate	10,384	47,213	36,829	78,00%
	Zapallo Italiano	2,293	13,367	11,074	83,00%
	Huerta Casera	0,712		-0,712	-100,00%
	Otras Hortalizas	8,841		-8,841	-100,00%
	Arveja / Arveja	8,253	48,549	40,296	83,00%
	Cebolla / Choclo	1,686	10,249	8,563	84,00%
	Poroto Verde / Choclo	5,801	14,364	8,563	60,00%
	Choclo / Melón	4,114	12,678	8,564	68,00%
	Morrón / Huerta Casera	0,405	3,710	3,305	89,00%
Frutales y Vides	Ciruelo	2,948	2,948		
	Duraznero	3,364	3,364		
	Guayabo	13,498	27,494	13,996	51,00%
	Limonero	7,927	22,916	14,989	65,00%
	Mango	29,634	60,625	30,991	51,00%
	Maracuyá	2,906	2,906		
	Membrillo	4,032	4,032		
	Naranjo	16,860	16,860		
	Olivo	16,251	46,481	30,230	65,00%
	Palto	8,897	8,897		
	Pera	9,370	9,370		
	Tuna	6,494	6,494		
	Uva de Mesa	2,243	38,629	36,386	94,00%
	Frutales Varios	12,660	12,660		
	Vid Vinífera	29,156	40,036	10,880	27,00%
	Guayaba c/Alfalfa	0,811	0,811		
	Naranjo c/Alfalfa	0,998	0,998		
	Palto c/Alfalfa	1,248	1,248		
	Tuna c/Alfalfa	0,306	0,306		
	Frutales Varios c/Alfalfa	0,655	0,655		
	Vid Vinífera c/Alfalfa	1,404	1,404		
	Naranjo c/Prad. Natural	2,241	2,241		
	F. Varios c/Prad. Natural	0,717	0,717		
Praderas y Otros Usos	Alfalfa	2,098	2,638	0,540	20,00%
Total Riego		**249,669**	**592,319**	**342,650**	**58,00%**
SECANO					
Pradera Natural		22,337		-22,337	-100,00%
Barbecho		8,553		-8,553	-100,00%
Secano Sin Uso		312,467		-312,467	-100,00%
Total Secano		**343,357**		**-343,357**	**-100,00%**
Indirectamente Productivo		27,352	27,352		
Sin Uso Agrícola		41,902	41,902		
Total Área		**662,280**	**662,280**		

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

7.7.2. 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.

Los gastos indirectos generales para la Situación Actual y Situación Futura se muestran en el Cuadro 7.7.2-1.

CUADRO 7.7.2-1
COSTOS INDIRECTOS Y GASTOS GENERALES ANUALES
SITUACIÓN ACTUAL Y SITUACIÓN FUTURA ($/ha/año)

Sector	Estrato de Tamaño (ha)	Situación Actual		Situación Con Proyecto	
		Precios de Mercado	Precios Sociales	Precios de Mercado	Precios Sociales
1	0 a 0,5	75.000	75.000	86.000	86.000
	0,51 a 1,0	75.000	75.000	86.000	86.000
	1,01 a 5,0	75.000	75.000	86.000	86.000
	5,01 a 10,0	75.000	75.000	86.000	86.000
2	0 a 0,5	1.601.237	1.601.237	1.869.170	1.869.170
	0,51 a 1,0	709.092	709.092	743.637	743.637
	1,01 a 5,0	1.944.166	1.944.166	2.321.333	2.321.333
	5,01 a 10,0	1.944.166	1.944.166	2.321.333	2.321.333
2A	> de 10,0	12.350	12.350	14.570	14.570
3	0,51 a 1,0	184.678	181.564	219.662	216.548
	1,01 a 5,0	263.828	259.379	313.806	309.357
	5,01 a 10,0	68.712	65.676	81.709	78.673
	> de 10,0	198.401	188.406	233.954	223.959

Fuente: Elaboración propia

7.7.3. 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 goteo en frutales
- Riego por cinta en hortalizas

En el Cuadro 7.7.3-1 se presentan los costos de inversión, costos fijos y operaciones por hectárea para cada uno de los sistemas considerados.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 7.7.3-1
COSTOS SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO ($/ha)

MÉTODO	Inversión	Reparaciones	Energía	Total operacional
Goteo	3.003.940	150.197	148.200	298.397
Cinta	2.284.528	114.226	148.200	262.426

Fuente: Elaboración propia

7.7.4. Habilitación de Terrenos

El costo de habilitación de terrenos para ser regados, está enfocado a suelos en los que nunca se han efectuado labores de tipo agrícola y, por lo tanto, en muchos casos hay que despedrarlos, desmontarlos y en algunos casos lavarlos.

Para efectuar esta labor de habilitación es necesario un total de 45 horas de maquinaria con su operario por ha, más el valor de la mano de obra de los trazadores o marcadores.

En el Cuadro 7.7.4-1 se presentan los costos de habilitación.

CUADRO 7.7.4-1
COSTOS EN HABILITACIÓN DE TERRENOS ($/ha)

Labortes	Retroexcavadora $/hora	Mano de Obra $/JH	Horas Maquina	Jornadas Hombre	Total Costos ($)
Despedrado	25.000		30		750.000
Reconstrucción Superficie	25.000		15		375.000
Trazado en Terreno (Marcadores)		10.000		4	40.000
Lavado de suelos		10.000		50	500.000
Total Habiliación Terrenos					**1.665.000**

Fuente: Elaboración propia

7.7.5. 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 (si fuera pertinente), 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.).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El programa deberá contar con la participación de directa de Ingenieros Agrónomos y un Técnico Agrícola. El Ingeniero Agrónomo será el Jefe del Programa y el técnico será de apoyo. Además se establecerá una oficina técnica y administrativa del Programa.

Se deberán implementar Módulos Demostrativos o MODEMS, 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 Actual Optimizada y la Situación Futura radica esencialmente en la magnitud de la intervención, ya que con proyecto se estima que será necesario un equipo profesional más numeroso, mayor cantidad de reuniones y material explicativo. Además los cultivos propuestos en los MODEMS tendrán un énfasis de exploración en explotaciones tecnificadas.

La duración de ambos programas será de 6 años, independiente del tamaño de las explotaciones.

En Situación Actual Optimizada el costo del programa de fortalecimiento y de aplicación tecnológica por año asciende a los $89.734/ha en el año 1 y $83.710/ha en el resto de los años.

Por su parte, para Situación Futura el costo del programa de fortalecimiento y de aplicación tecnológica por año asciende a los $133.070/ha en el año 1, $111.069/ha en el año 2, $111.014/ha en el año 3, $110.919/ha en el año 4, $110.969/ha en el año 5 y $111.021/ha en el año 6.

7.7.6. Organización de Usuarios y Factibilidad Legal

El área de influencia del embalse Umirpa, está abastecida por numerosos canales que parten en la localidad de Incauta, en el sector 1, hasta Chaca, en el sector 3. Por otra parte, sólo en la parte alta y media del valle (sectores 1 y 2) los recursos superficiales son de carácter más permanente durante el año. En cambio, en los sectores 2A y 3, los recursos superficiales sólo se disponen en el período del Invierno Altiplánico, entre los meses de Diciembre y Abril, el resto del año los agricultores deben abastecerse de aguas provenientes de las napas subterráneas.

El sistema de riego opera siempre bajo "régimen a turno" o "a Mitación", por el escaso caudal y el tamaño reducido de las propiedades, salvo en períodos de abundancia (Enero a Marzo). Las Mitaciones o Turnos se realizan en base a cinco sectores, excluyendo el de Cachicoca a Chaqui, el cual se encuentra en estado de trámite sus derechos de agua.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Los tres primeros tramos tienen derechos a un total de 40 días de riego y los tramos Ofragía a Cachicoca y Chaqui a Chaca, tienen otros 10 días, después de los 40, según resolución N° 340 de la Dirección de Riego de 1965. Aunque las aguas no logran llegar al sector Chaca, su infiltración va a recargar el acuífero del sector.

Los derechos de aguas de los usuarios están debidamente establecidos y legalizados. La DGA y CNR ha incentivado la formación de Comunidades de Agua. Existen 43 Comunidades de Aguas inscritas en el Registro de Aguas del CBR de Arica y en el Registro de Comunidades de la DGA.

La distribución del agua de riego entre los canales está bajo el control de los representantes de las Comunidades de Aguas que operan, de hecho, como Junta de Vigilancia.

Un problema que se visualiza a corto plazo es el incremento en la construcción de pozos, especialmente en el área de Caleta Vítor, fuera del área de proyecto por no poseer derechos sobre el río Vítor o Codpa, lo que puede comenzar a deprimir el nivel de las aguas subterráneas y afectar a los pozos existentes. Sólo la mitad de los pozos existentes en Chaca cuentan con derechos de agua debidamente legalizados

Según lo anterior, es relevante aclarar la legalidad de los derechos sobre el agua del embalse Umirpa en el sector 2A y terminar de legalizar los derechos de los agricultores de los sectores 2 y 3.

En la determinación del costo de organización de usuarios se ha considerado la instalación de una oficina en donde funcione la organización de regantes en la localidad de Codpa, la que corresponde al punto medio del área de estudio. La inversión inicial corresponde a $13.570.000, en tanto que los costos anuales de operación se estiman en $16.380.000.

Por otra parte, efectuado el análisis crítico de la documentación legal aportada, desde el punto de vista de esta factibilidad, es posible concluir que, en el estado actual de los derechos de aprovechamiento de los miembros de las organizaciones de usuarios involucradas, no sería factible proceder, de inmediato, a presentar una petición de traslado de los derechos (sea en forma total o parcial).

Ello obedece a que los títulos de los derechos de aprovechamiento no se encuentran ***perfeccionados***, en el sentido que a esta expresión le da el Código de Aguas; esto es, no cuentan con algunas de las características esenciales establecidas por el artículo 45 del Reglamento del Catastro Público de Aguas, concreta y principalmente, su medida en volumen por unidad de tiempo (litros por segundo) y la consignación de las características con que los derechos han sido reconocidos u otorgados (consuntividad, permanencia y continuidad).

El perfeccionamiento de títulos de derechos de aprovechamiento debe llevarse a cabo mediante un procedimiento judicial, según mandato expreso del artículo 46 del Reglamento del Catastro Público de Aguas.

7.8. DEMANDAS DE AGUA

Se realizó para la Situación Actual, Actual Optimizada y Futura 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 requiere de información correspondiente a evapotranspiración potencial, coeficientes de cultivo, precipitación efectiva, demandas netas de agua de riego, eficiencias y tasas de riego por cultivo.

En el Cuadro 7.8-1 se presenta un resumen de la demanda por cada sector definido para el presente estudio. Como conclusión se desprende que la demanda bruta actual es de 3,96 millones de m^3 aproximadamente para la superficie de riego. En Situación Actual Optimizada la cifra llega a 3,43 millones de m^3. Finalmente, las demandas futuras llegan a 6,49 millones de m^3.

Es importante destacar que el valor obtenido no considera pérdidas en el sistema de conducción extrapredial. Éstas pérdidas si se contemplan en el modelo de operación del embalse.

CUADRO 7.8-1
DEMANDA BRUTA (m^3/mes)

Situación Actual													
SECTOR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1	7.619	21.043	6.627	6.968	11.907	19.425	25.682	12.760	10.625	10.757	30.538	16.796	180.749
2	103.326	155.112	90.577	99.602	127.389	175.282	214.784	252.223	248.090	234.027	212.622	139.962	2.052.995
2A	0	0	0	0	11.770	24.020	37.290	50.960	47.710	41.620	35.860	0	249.230
3	123.931	325.894	111.750	110.286	102.839	114.502	106.843	104.896	100.651	83.692	100.621	97.067	1.482.972
Situación Actual Optimizada													
SECTOR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1	5.645	5.315	6.118	6.433	10.993	17.925	23.705	11.772	9.813	9.931	28.183	15.510	151.343
2	91.239	83.807	83.670	92.083	117.729	161.959	198.279	232.823	228.994	216.015	196.268	129.203	1.832.069
2A	0	0	0	0	10.380	21.200	32.900	44.960	42.100	36.730	31.640	0	219.910
3	104.682	103.921	110.065	108.433	100.786	112.456	105.066	103.651	99.093	81.980	98.532	95.501	1.224.166
Situación Futura													
SECTOR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1	9.040	9.100	10.941	10.768	40.432	75.824	106.229	49.046	29.307	36.315	100.858	49.737	527.596
2	98.509	92.310	93.377	113.031	144.051	189.128	200.858	237.046	231.960	218.813	198.588	133.969	1.951.639
2A	13.611	17.889	21.628	24.607	39.585	58.425	65.745	79.803	74.709	66.283	62.335	7.343	531.962
3	263.363	271.935	289.723	289.038	306.983	340.434	315.182	329.528	302.835	244.377	267.919	258.510	3.479.827

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 7.8-1
TASA DE RIEGO (m^3/ha/mes)

Situación Actual													
SECTOR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1	1.354	3.739	1.178	1.238	974	1.484	1.962	1.116	562	569	1.616	833	16.625
2	1.411	2.119	1.237	1.344	1.318	1.564	1.948	2.305	2.250	2.123	1.929	1.580	21.128
2A	0	0	0	0	1.177	2.402	3.729	5.096	4.771	4.162	3.586	0	24.923
3	1.208	3.111	1.067	1.141	1.121	1.248	1.431	1.587	1.375	1.276	1.201	986	16.752
Situación Actual Optimizada													
SECTOR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1	1.003	944	1.087	1.143	899	1.369	1.811	1.029	519	526	1.492	769	12.591
2	1.246	1.145	1.143	1.242	1.218	1.445	1.799	2.128	2.077	1.960	1.780	1.459	18.642
2A	0	0	0	0	1.038	2.120	3.290	4.496	4.210	3.673	3.164	0	21.991
3	1.020	992	1.051	1.122	1.099	1.226	1.407	1.568	1.354	1.250	1.176	970	14.235
Situación Futura													
SECTOR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1	1.061	1.068	1.284	1.264	795	1.466	2.053	948	470	582	1.616	729	13.336
2	1.187	1.112	1.125	1.151	1.205	1.425	1.773	2.092	2.047	1.931	1.753	1.409	18.208
2A	846	847	1.024	1.287	1.042	1.538	2.536	3.822	3.578	2.897	2.233	812	22.462
3	942	895	953	1.028	980	1.096	1.345	1.509	1.387	1.206	1.039	886	13.266

Fuente: Elaboración propia

7.9. BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO

7.9.1. Determinación de Flujos Agroeconómicos

Considerando los criterios planteados en el capítulo de "Criterios de Desarrollo" de la Situación Futura o con Proyecto, los respectivos periodos de transición y las curvas logísticas asociadas, se determinaron los flujos de márgenes netos correspondientes a la situación actual a optimizada, y actual a futura o con proyecto, para los Predios Promedio y sus correspondientes expansiones.

Los márgenes brutos se han determinado a través de la multiplicación de cada superficie asignada por el margen neto unitario resultante de las fichas técnico económicas. Posteriormente, en la situación actual se descontaron los gastos indirectos y los costos de inversión y operación de riego tecnificado. En situación optimizada, además de los descuentos señalados para la situación actual, se descontaron los costos del programa de transferencia tecnológica. En situación futura se consideraron los costos por concepto de gastos indirectos, riego tecnificado, habilitación de terrenos y del programa de transferencia tecnológica.

En el caso específico de la situación actual a actual optimizada en que los recursos hídricos no se encuentran regularizados y por lo tanto, la superficie actualmente regada no cuenta con una seguridad de riego adecuada, se ha procedido a afectar los rendimientos y costos de cosecha de acuerdo a la fórmula del Factor de Producción propuesta por Doorenbos y Kassan 1979 (FAO 33) y Ferreyra; Selles y otros 1985 y 1991.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El cálculo de los rendimientos está en directa relación con el factor hídrico, el cual en períodos de déficit, en especial de sequías severas, la producción de los rubros productivos, tanto en términos físicos como económicos, se ve notablemente disminuida.

Con el propósito de representar adecuadamente el efecto de la disponibilidad de agua de riego, se afectaron en los flujos de situación actual los ingresos y costos de cosecha (asociados a los rendimientos) con diferentes niveles de satisfacción de la demanda de cultivos. Esto se llevó a cabo utilizando la metodología propuesta en FAO 33, la cual contempla funciones de producción. Las funciones indicadas se expresan a través del siguiente modelo:

$$1 - \frac{Ya}{Ym} = Ky(1 - \frac{Eta}{Etr})$$

Donde:

Ya	=	rendimiento actual cosechado
Ym	=	rendimiento máximo cosechado
Ky	=	factor del efecto sobre el rendimiento
ETa	=	evapotranspiración actual (fracción de ETr)
ETr	=	evapotranspiración real o máxima (ETo x kc)
Kc	=	coeficiente de cultivo

Cabe señalar que según los antecedentes obtenidos por el modelo efectuado en la presente consultoría, los sectores 1 y 3 se riegan en la actualidad con un factor de satisfacción de sobre el 85%, razón por la cual no fueron afectados con la fórmula del factor de producción. En cambio el sector 2 de Codpa presenta en la serie hidrológica factores de satisfacción inferiores al 85% en la mayor parte de los años, razón por la cual sus flujos consideraron la fórmula del factor de producción.

Finalmente en relación a la situación actual, el sector 2A correspondiente a Pintatane con vides viníferas el factor es aproximado a 0, por lo que no se han calculado flujos actuales para este sector.

En relación a la situación futura o con proyecto, según los resultados del modelo de simulación efectuado en la presente consultoría, la totalidad de los sectores son regados con un factor de satisfacción mayor al 85%, razón por la cual no fueron afectados con la fórmula del factor de producción.

En relación al sector 2A de Pintatane, en la alternativa de sólo embalse no es factible de regar, razón por la cual no fue considerado dentro de los flujos de evaluación. En cambio, en la alternativa de embalse más tubería, dicho sector se satisface en un 100%, por la cual si es considerado dentro de los flujos de evaluación.

En el Cuadro 7.9.1-1 se presenta un resumen de los flujos para el total del área.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 7.9.1-1
RESUMEN DE FLUJOS PARA EL TOTAL ÁREA ($)

Año	Margen Neto						Flujo Neto			
	Situación Actual		Situación Futura Solo Embalse		Situación Futura Embalse y Tubería		Situación Futura Solo Embalse		Situación Futura Embalse y Tubería	
	Precio Mercado	Precio Social	Precio Mercado	Precio Social	Precio Mercado	Precio Social	Precio Mercado	Precio Social	Precio Mercado	Precio Social
1	230.197.535	304.664.793	252.564.430	326.876.580	255.934.330	331.314.467	22.366.895	22.211.787	25.736.795	26.649.674
2	234.161.973	308.938.442	217.627.828	291.939.978	219.667.028	295.047.165	-16.534.145	-16.998.464	-14.494.945	-13.891.277
3	237.736.359	312.978.084	130.179.821	237.823.281	130.570.878	240.737.268	-107.556.538	-75.154.803	-107.165.481	-72.240.816
4	252.123.094	329.059.909	171.267.269	333.835.985	180.621.091	348.622.622	-80.855.825	4.776.076	-71.502.003	19.562.713
5	248.482.229	325.395.416	301.344.421	541.637.066	326.443.646	576.533.933	52.862.192	216.241.650	77.961.417	251.138.517
6	248.738.122	325.818.912	542.449.692	883.556.485	591.037.329	947.761.535	293.711.570	557.737.573	342.299.207	621.942.623
7	261.002.439	337.912.900	1.218.652.367	1.532.706.708	1.325.368.689	1.662.315.156	957.649.928	1.194.793.808	1.064.366.250	1.324.402.256
8	31.770.272	156.798.971	1.368.105.537	1.701.825.370	1.516.534.259	1.880.420.930	1.336.335.265	1.545.026.399	1.484.763.987	1.723.621.959
9	265.730.928	342.014.559	1.525.254.744	1.861.518.250	1.687.894.790	2.054.325.134	1.259.523.816	1.519.503.691	1.422.163.862	1.712.310.575
10	278.271.466	355.499.444	1.605.907.921	1.949.572.505	1.768.547.967	2.142.379.389	1.327.636.455	1.594.073.061	1.490.276.501	1.786.879.945
11	276.698.646	353.784.167	1.665.645.834	2.014.576.535	1.828.285.880	2.207.383.419	1.388.947.188	1.660.792.368	1.551.587.234	1.853.599.252
12	262.566.687	338.489.081	1.696.149.650	2.047.627.453	1.858.789.696	2.240.434.337	1.433.582.963	1.709.138.372	1.596.223.009	1.901.945.256
13	145.908.270	231.917.994	1.716.297.992	2.069.922.388	1.878.046.714	2.261.837.948	1.570.389.722	1.838.004.394	1.732.138.444	2.029.919.954
14	232.531.017	307.352.291	1.752.548.416	2.107.899.199	1.915.188.462	2.300.706.083	1.520.017.399	1.800.546.908	1.682.657.445	1.993.353.792
15	210.773.238	285.118.833	1.761.615.593	2.117.766.923	1.924.255.639	2.310.573.807	1.550.842.355	1.832.648.090	1.713.482.401	2.025.454.974
16	225.549.230	297.604.641	1.774.001.615	2.131.392.024	1.936.641.661	2.324.198.908	1.548.452.385	1.833.787.383	1.711.092.431	2.026.594.267
17	203.228.683	279.794.691	1.788.897.750	2.147.849.181	1.951.537.796	2.340.656.065	1.585.669.067	1.868.054.490	1.748.309.113	2.060.861.374
18	238.364.785	311.348.101	1.789.834.792	2.150.335.907	1.951.512.618	2.342.180.571	1.551.470.007	1.838.987.806	1.713.147.833	2.030.832.470
19	227.790.151	300.668.815	1.796.480.651	2.157.055.195	1.959.120.697	2.349.862.079	1.568.690.500	1.856.386.380	1.731.330.546	2.049.193.264
20	-245.241.952	-123.707.872	1.536.582.077	1.896.805.310	1.699.222.123	2.089.612.194	1.781.824.029	2.020.513.182	1.944.464.075	2.213.320.066
21	254.267.119	328.299.116	1.768.273.455	2.128.765.665	1.930.913.501	2.321.572.549	1.514.006.336	1.800.466.549	1.676.646.382	1.993.273.433
22	254.031.327	328.440.616	1.781.950.192	2.140.176.336	1.944.590.238	2.332.983.220	1.527.918.865	1.811.735.720	1.690.558.911	2.004.542.604
23	255.618.011	330.098.403	1.773.198.727	2.131.819.950	1.935.110.719	2.323.898.780	1.517.580.716	1.801.721.547	1.679.492.708	1.993.800.377
24	271.095.789	347.464.198	1.704.333.972	2.063.450.733	1.861.203.878	2.250.487.477	1.433.238.183	1.715.986.535	1.590.108.089	1.903.023.279
25	280.644.266	357.630.735	1.612.768.656	1.971.995.876	1.763.150.907	2.152.544.965	1.332.124.390	1.614.365.141	1.482.506.641	1.794.914.230
26	276.737.111	353.816.586	1.466.560.275	1.819.265.899	1.609.900.628	1.992.773.090	1.189.823.164	1.465.449.313	1.333.163.517	1.638.956.504
27	280.311.543	357.666.516	1.709.604.081	2.053.834.160	1.872.244.127	2.246.641.044	1.429.292.538	1.696.167.644	1.591.932.584	1.888.974.528
28	266.926.682	343.259.508	1.607.090.081	1.955.473.477	1.768.838.803	2.147.389.037	1.340.163.399	1.612.213.969	1.501.912.121	1.804.129.529
29	260.849.072	336.613.917	1.543.458.916	1.897.287.132	1.706.098.962	2.090.094.016	1.282.609.844	1.560.673.215	1.445.249.890	1.753.480.099
30	241.369.732	315.658.421	1.656.737.816	1.996.748.976	1.819.377.862	2.189.555.860	1.415.368.084	1.681.090.555	1.578.008.130	1.873.897.439

Fuente: Elaboración Propia.

7.9.2. Balance de Mano de Obra

Cabe señalar que de acuerdo a los criterios de desarrollo propuestos para el presente proyecto se estima que su estabilización se logrará en el año 2032. En el acápite Descripción General del Área, Antecedentes Regionales y Comunales, Población, letra e) se presenta la mano de obra agrícola disponible al año 2011, de donde se desprende que ésta alcanza a 3.411 hombres y 845 mujeres, lo que suma en total 4.256 personas.

Para estos efectos se presenta en el Cuadro 7.9.2-1 el cálculo de los requerimientos totales de mano de obra para situación actual (año 0) y en el Cuadro 7.9.2-2 para la situación futura al año 2032.

En este cálculo se han incluido los siguientes ítems de mano de obra:

- Mano de obra resultante de las actividades directas incluidas en las fichas técnico económicas.
- Mano de obra permanente, correspondiente a los meses con menor demanda de mano de obra. En el resto de los meses se utiliza el promedio de los meses de menor demanda.
- Mano de obra temporal, correspondiente a la diferencia entre el total de mano de obra y la mano de obra permanente.
- Mano de obra adicional a la permanente para desempeñarse en labores indirectas como por ejemplo, mantención de infraestructura, limpia de canales, destronques, administración y trabajo del propietario, entre otras. Corresponde a un 20% adicional a las jornadas permanentes. Estas jornadas están valorizadas dentro del ítem Costos Indirectos.

CUADRO 7.9.2-1
REQUERIMIENTOS DE EMPLEO PERMANENTE Y TEMPORAL DE HOMBRES Y MUJERES EN JORNADAS PARA SITUACIÓN ACTUAL O AÑO 0

Personal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Masculino Labores Directas	719,5	719,5	820,7	719,5	807,7	719,5	719,5	719,5	719,5	719,5	666,5	583,1	8.634,2
Femenino Labores Directas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Masculino Labores Indirectas	115,1	115,1	131,3	115,1	129,2	115,1	115,1	115,1	115,1	115,1	106,6	93,3	1.381,5
Femenino Labores Indirectas	28,8	28,8	32,8	28,8	32,3	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	26,7	23,3	345,4
Total Personal Permanente	**863,4**	**863,4**	**984,9**	**863,4**	**969,3**	**863,4**	**863,4**	**863,4**	**863,4**	**863,4**	**799,8**	**699,7**	**10.361,0**
Masculino Temporal	251,0	251,4	0,0	463,7	0,0	1.885,0	2.091,7	2.261,3	1.355,5	1.020,9	0,0	0,0	9.580,6
Femenino Temporal	213,8	96,9	136,6	202,1	236,6	1.667,3	1.649,0	1.641,6	930,7	912,2	56,7	199,0	7.942,4
Total Personal Temporal	**464,8**	**348,2**	**136,6**	**665,8**	**236,6**	**3.552,3**	**3.740,7**	**3.902,9**	**2.286,2**	**1.933,1**	**56,7**	**199,0**	**17.523,0**

Fuente: Elaboración propia a partir de fichas técnico económicas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 7.9.2-2
REQUERIMIENTOS DE EMPLEO PERMANENTE Y TEMPORAL DE HOMBRES Y MUJERES EN JORNADAS PARA SITUACIÓN FUTURA O AÑO 21

Personal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Masculino Labores Directas	2.564,0	2.768,5	2.448,3	2.564,0	2.757,8	2.564,0	2.564,0	2.564,0	2.564,0	2.564,0	2.281,4	2.564,0	30.768,1
Femenino Labores Directas	512,3	365,7	453,2	541,7	688,4	512,3	512,3	512,3	512,3	512,3	512,3	512,3	6.147,2
Masculino Labores Indirectas	492,2	501,5	464,2	496,9	551,4	492,2	492,2	492,2	492,2	492,2	447,0	492,2	5.906,4
Femenino Labores Indirectas	123,1	125,4	116,1	124,2	137,9	123,1	123,1	123,1	123,1	123,1	111,7	123,1	1.476,6
Total Personal Permanente	**3.691,5**	**3.761,1**	**3.481,8**	**3.726,9**	**4.135,5**	**3.691,5**	**3.691,5**	**3.691,5**	**3.691,5**	**3.691,5**	**3.352,4**	**3.691,5**	**44.298,3**
Masculino Temporal	2.761,0	0,0	0,0	611,2	0,0	6.333,2	6.802,4	6.062,6	5.511,1	4.350,9	0,0	1.391,7	33.824,1
Femenino Temporal	1.008,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4.969,3	4.972,3	5.107,8	3.524,8	3.368,7	383,3	826,2	24.160,7
Total Personal Temporal	**3.769,3**	**0,0**	**0,0**	**611,2**	**0,0**	**11.302,4**	**11.774,7**	**11.170,4**	**9.035,9**	**7.719,6**	**383,3**	**2.218,0**	**57.984,9**

Fuente: Elaboración propia a partir de fichas técnico económicas.

De los cuadros anteriores se concluye que en Situación Actual el requerimiento de mano de obra permanente en el área de estudio asciende a 36 personas, considerando que cada obrero trabaja 24 días al mes. Entretanto, en Situación Futura, este tipo de empleo asciende a 44.298,3 jornadas totales anuales, lo que equivale a 153,8 personas mensuales.

De esta manera, se deduce que por efectos de la ejecución del presente proyecto, hacia el año 2032, los puestos de trabajo permanente se incrementarían en más de cuatro veces, evolución que corresponde a 117,8 unidades de nuevas plazas de colocación.

Teniendo en consideración la demanda de mano de obra permanente en situación actual, del orden de 10.361 jornadas, y la estimada en plena madurez del proyecto, año 2032 con 44.298,3 jornadas de trabajo permanente; la tasa interanual de crecimiento de los requerimientos de mano de obra, entre ambas situaciones, alcanza a 7,164%.

Con el propósito de realizar el balance de mano de obra, se utilizó la información disponible al año 2011, referida a la mano de obra existente en el área de estudio disponible para ocuparse en las labores agrícolas, sin considerar a las personas dedicadas a los quehaceres del hogar, que eventualmente podrían incorporarse a este sector. Al comparar la población residente disponible para desempeñarse en el sector agrícola en el año 2032, equivalente a 5.514 personas, se concluye que ésta satisface plenamente los requerimientos de mano de obra permanente en la plena madurez del proyecto.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

8. ESCENARIOS DEL PROYECTO

Definido el emplazamiento del embalse, el tipo 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.

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 y la generación hidroeléctrica con recursos superficiales. Además, se considera la recarga al acuífero del sector de Chaca desde el embalse y el bombeo en la zona de riego. La generación se realiza al pie del muro.

Escenario 3: Embalse para satisfacer la demanda de riego y para la generación hidroeléctrica sólo con recursos superficiales. Se considera la construcción de una conducción gravitacional desde Ofragía hasta Chaca. La generación se realiza en el último tramo de la conducción.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

9. MODELO DE SIMULACIÓN SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE RIEGO QUEBRADA DE VÍTOR

9.1. OBJETIVOS Y ALCANCES

9.1.1. Objetivo General

El propósito del modelo de simulación es determinar el volumen útil necesario del embalse y otros parámetros relevantes, para regar la superficie definida, con seguridad de 85%, para cada uno de los tres escenarios a evaluar en el proyecto.

9.1.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un modelo matemático de simulación para representar los balances de agua superficiales y subterráneos en el valle de la cuenca de Vítor.
- Determinar el volumen útil del embalse requerido en cada escenario futuro, para regar el área potencial de riego, con seguridad de riego de 85%.
- Calcular los promedios mensuales de altura de agua y caudal entregado por el embalse en la operación simulada, para determinar la energía hidroeléctrica posible de generar.
- Calcular la evaporación, con la mayor exactitud posible, dada su alta incidencia en relación a los bajos caudales de la cuenca.
- Analizar el impacto en las variaciones del volumen del embalse subterráneo en cada escenario.

9.1.3. Alcances

9.1.3.1. Escala de Tiempo Mensual

La información básica utilizada corresponde a estudios realizados en esta misma Consultoría, como es el caso del estudio hidrológico (estadísticas de caudales medios mensuales), estudio agronómico (superficies y demandas de agua de riego de cada sector, etc.). Los balances de agua son de las aguas superficiales y subterráneas. El modelo se desarrolla mediante una planilla electrónica, la cual permite el ingreso de los datos, el cálculo de la simulación y la emisión de resultados, en forma simple.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

9.1.3.2. Escenarios a Analizar

Escenario N° 1: Situación Actual y Sin Proyecto

Corresponde a la situación de desarrollo agrícola del valle actual y su proyección si no se realiza el proyecto.

Escenario N° 2: Con proyecto de embalse Umirpa

Se considera la operación del embalse Umirpa, en la regulación de los caudales superficiales. Las superficies y demandas de agua de riego corresponden a la proyección futura. La generación hidroeléctrica corresponde a una microcentral a pie de presa, cuyos caudales de operación están supeditados a las entregas para riego.

Escenario N° 3: Con proyecto de embalse Umirpa y Tubería de distribución a Chaca.

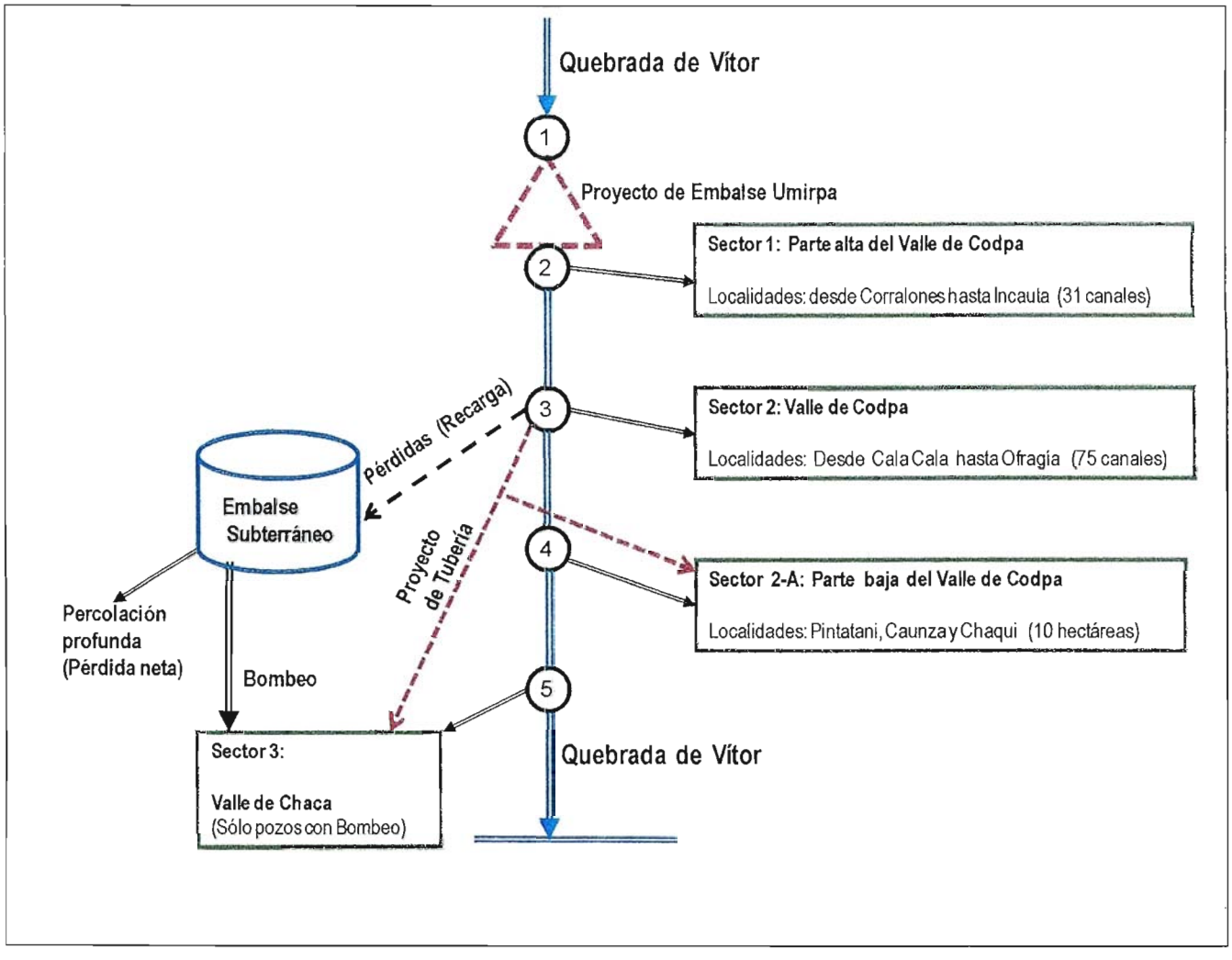
Se considera la operación del embalse Umirpa, en la regulación de los caudales superficiales y una tubería de distribución desde aguas abajo de Ofragía hasta la zona de Chaca. Las superficies y demandas de agua de riego corresponden a la proyección futura. La generación hidroeléctrica corresponden a; (1) una microcentral a pie de presa, cuyos caudales de operación están supeditado a las entregas para riego, y (2) una microcentral al final del último tramo de la tubería que entrega a la zona del valle de Chaca.

9.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En el esquema de la Figura 9.2-1 se ilustra el esquema del modelo con el cual se representa los balances de agua en el valle de Vítor.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 9.2-1
ESQUEMA GENERAL DEL MODELO DE SIMULACIÓN



Fuente: Elaboración Propia

En este esquema se aprecia los siguientes elementos que intervienen en el balance hídrico:

- Caudal afluente superficial, representado por la estadística de caudales medios mensuales afluentes al embalse.

- Proyecto de embalse Umirpa, considerando la ubicación seleccionada (Alternativa 1, de más aguas abajo)

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Sectores de riego:

  - Sector N° 1: Parte alta del Valle de Codpa. Comprende las localidades desde Corralones hasta Incauta. Este sector se abastece sólo con canales que captan desde el río.

  - Sector N° 2: Valle de Codpa. Comprende las localidades desde Cala Cala hasta Ofragía. Este sector se abastece sólo con canales que captan desde el río.

  - Sector N° 2-A: Corresponde a la parte baja del Valle de Codpa, en las pequeñas localidades de Pintatani, Caunza y Chaqui (10 hectáreas). En la situación actual, este sector se abastece sólo con canales que captan desde el río. En la situación futura, escenario 3, se podría abastecer además con una tubería desde Ofragía.

  - Sector N° 3: Valle de Chaca. Se abastece con pozos con bombeo. Una parte de esta zona está bajo canal, que se abastece en forma eventual desde el río, durante el invierno altiplánico.

- Aportes subterráneos que llegan a la zona del valle de Chaca, donde son bombeados.

- Proyecto de tubería desde Ofragía hasta la zona de Chaca, abasteciendo los sectores 2-A y 3.

- Embalse subterráneo, que recibe como recarga las pérdidas por infiltración aguas abajo de Ofragía.

- Este embalse subterráneo se modela con los parámetros siguientes:

  - Volumen máximo: Cuando se supera este volumen, se produce escorrentía superficial, principalmente en el invierno altiplánico.

  - Coeficiente de percolación, que corresponde a la fracción del volumen del embalse subterráneo que se pierde como infiltración profunda (pérdida neta).

  - Volumen inicial del embalse subterráneo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

9.3. INFORMACIÓN UTILIZADA POR EL MODELO

9.3.1. Estadísticas Hidrológicas

Sobre la base del estudio hidrológico realizado en esta Consultoría, se determinó la estadística de caudales medios mensuales afluentes al embalse Umirpa, que corresponde a la suma de los aportes en cabecera de la cuenca y las hoyas intermedias 1 y 2, que se encuentran aguas arriba de la ubicación del muro del embalse. El período de dichas estadísticas es de octubre de 1983 a septiembre de 2009, las cuales se detallan en los cuadros 9.3.1-1, 9.3.1-2 y 9.3.1-3.

CUADRO 9.3.1-1
CAUDALES MEDIOS MENSUALES AFLUENTES AL EMBALSE UMIRPA EN CABECERA (m^3/s)

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	PROM
1983	0,017	0,020	0,103	0,176	0,139	0,037	0,025	0,036	0,028	0,026	0,017	0,019	0,054
1984	0,009	0,016	0,108	1,442	5,998	2,916	0,062	0,036	0,022	0,018	0,011	0,008	0,887
1985	0,008	0,015	0,300	0,330	5,487	2,252	0,142	0,035	0,021	0,017	0,010	0,008	0,719
1986	0,008	0,015	0,364	2,960	1,510	0,929	0,290	0,034	0,021	0,017	0,010	0,008	0,514
1987	0,013	0,033	0,075	4,318	1,430	0,039	0,038	0,030	0,026	0,036	0,025	0,013	0,506
1988	0,009	0,020	0,108	0,282	0,162	0,284	0,077	0,022	0,021	0,017	0,012	0,008	0,085
1989	0,012	0,031	0,071	0,118	1,690	1,108	0,036	0,029	0,025	0,034	0,024	0,012	0,266
1990	0,013	0,034	0,119	0,079	0,085	0,040	0,039	0,031	0,027	0,037	0,026	0,013	0,045
1991	0,011	0,015	0,026	2,591	0,310	0,031	0,020	0,022	0,024	0,024	0,022	0,022	0,260
1992	0,009	0,019	0,150	0,305	0,156	0,101	0,023	0,022	0,020	0,017	0,012	0,008	0,070
1993	0,014	0,036	0,083	2,431	0,092	0,096	0,041	0,033	0,029	0,039	0,140	0,014	0,254
1994	0,013	0,018	0,030	0,101	1,004	0,037	0,024	0,026	0,029	0,028	0,027	0,027	0,114
1995	0,011	0,015	0,026	0,049	0,041	0,023	0,020	0,022	0,024	0,024	0,023	0,023	0,025
1996	0,009	0,020	0,111	0,380	1,196	0,105	0,024	0,022	0,021	0,018	0,013	0,008	0,161
1997	0,017	0,019	0,098	0,896	3,256	0,862	0,024	0,034	0,027	0,024	0,016	0,018	0,441
1998	0,008	0,015	0,104	2,030	0,240	0,113	0,059	0,035	0,021	0,017	0,010	0,008	0,222
1999	0,009	0,021	0,117	0,392	4,902	5,889	0,085	0,024	0,022	0,019	0,013	0,009	0,959
2000	0,012	0,022	0,152	1,242	1,400	0,481	0,087	0,051	0,031	0,025	0,015	0,011	0,294
2001	0,010	0,022	0,122	1,642	6,749	4,907	0,162	0,025	0,023	0,019	0,014	0,009	1,142
2002	0,016	0,018	0,092	0,156	1,510	1,802	0,023	0,032	0,025	0,023	0,015	0,017	0,311
2003	0,016	0,018	0,094	0,159	0,126	0,706	0,023	0,032	0,025	0,023	0,015	0,017	0,105
2004	0,013	0,035	0,081	0,776	3,598	0,041	0,041	0,033	0,028	0,038	0,027	0,014	0,394
2005	0,017	0,020	0,102	0,281	1,892	0,099	0,025	0,035	0,028	0,025	0,016	0,019	0,213
2006	0,012	0,031	0,072	0,905	1,388	0,276	0,036	0,029	0,025	0,034	0,024	0,012	0,237
2007	0,015	0,017	0,087	0,353	0,723	0,031	0,021	0,030	0,024	0,022	0,014	0,016	0,113
2008	0,011	0,015	0,025	0,877	0,799	0,021	0,020	0,022	0,024	0,023	0,022	0,022	0,157
2009	0,009	0,012	0,020	0,038	0,033	0,016	0,016	0,017	0,019	0,019	0,018	0,018	0,020
PROM	0,012	0,021	0,105	0,937	1,701	0,861	0,055	0,030	0,024	0,025	0,022	0,014	0,317

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

CUADRO 9.3.1-2
ESTADÍSTICA DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES HOYA INTERMEDIA Nº 1 (m^3/s)

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	PROM
1983	0,001	0,001	0,006	0,010	0,008	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003
1984	0,001	0,001	0,007	0,107	0,455	0,221	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,067
1985	0,001	0,001	0,022	0,023	0,416	0,171	0,010	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,054
1986	0,001	0,001	0,027	0,223	0,113	0,070	0,021	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,038
1987	0,001	0,002	0,005	0,328	0,108	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,038
1988	0,001	0,001	0,007	0,019	0,010	0,020	0,006	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,006
1989	0,001	0,002	0,005	0,008	0,128	0,084	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,020
1990	0,001	0,002	0,008	0,005	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003
1991	0,001	0,001	0,002	0,197	0,023	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,019
1992	0,001	0,001	0,010	0,020	0,010	0,006	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005
1993	0,001	0,002	0,005	0,184	0,006	0,007	0,003	0,002	0,002	0,003	0,010	0,001	0,019
1994	0,001	0,001	0,002	0,007	0,076	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,008
1995	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
1996	0,001	0,001	0,007	0,026	0,089	0,007	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,011
1997	0,001	0,001	0,006	0,066	0,247	0,065	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,033
1998	0,001	0,001	0,007	0,152	0,016	0,007	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,016
1999	0,001	0,001	0,008	0,027	0,372	0,448	0,006	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,072
2000	0,001	0,001	0,010	0,091	0,103	0,035	0,006	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,021
2001	0,001	0,001	0,008	0,123	0,513	0,373	0,012	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,086
2002	0,001	0,001	0,006	0,010	0,114	0,137	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,023
2003	0,001	0,001	0,006	0,010	0,008	0,053	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,007
2004	0,001	0,002	0,005	0,058	0,273	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,029
2005	0,001	0,001	0,006	0,019	0,143	0,007	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,016
2006	0,001	0,002	0,005	0,068	0,105	0,021	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,018
2007	0,001	0,001	0,006	0,025	0,054	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,008
2008	0,001	0,001	0,002	0,066	0,060	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,012
2009	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
PROM	0,001	0,001	0,007	0,070	0,128	0,065	0,004	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,024

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 9.3.1-3
ESTADÍSTICA DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES HOYA INTERMEDIA Nº 2 (m^3/s)

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	PROM
1983	0,011	0,012	0,062	0,107	0,084	0,022	0,015	0,021	0,017	0,016	0,010	0,011	0,032
1984	0,006	0,010	0,068	0,944	3,956	1,923	0,039	0,022	0,014	0,011	0,007	0,005	0,584
1985	0,005	0,010	0,195	0,209	3,619	1,485	0,092	0,022	0,013	0,011	0,006	0,004	0,473
1986	0,005	0,009	0,237	1,948	0,991	0,610	0,189	0,021	0,013	0,010	0,007	0,005	0,337
1987	0,008	0,021	0,047	2,852	0,942	0,024	0,024	0,019	0,016	0,022	0,015	0,008	0,333
1988	0,006	0,012	0,067	0,178	0,100	0,183	0,050	0,013	0,013	0,011	0,008	0,005	0,054
1989	0,007	0,019	0,044	0,075	1,114	0,731	0,022	0,018	0,015	0,021	0,014	0,008	0,174
1990	0,008	0,020	0,075	0,049	0,053	0,024	0,024	0,019	0,016	0,023	0,016	0,008	0,028
1991	0,007	0,009	0,016	1,710	0,204	0,020	0,013	0,013	0,015	0,015	0,013	0,013	0,171
1992	0,005	0,012	0,094	0,192	0,096	0,062	0,014	0,013	0,012	0,010	0,008	0,005	0,044
1993	0,008	0,023	0,051	1,603	0,057	0,062	0,025	0,021	0,018	0,024	0,091	0,009	0,166
1994	0,008	0,011	0,019	0,065	0,662	0,024	0,015	0,016	0,018	0,018	0,017	0,016	0,074
1995	0,007	0,009	0,015	0,029	0,025	0,014	0,012	0,013	0,014	0,014	0,014	0,013	0,015
1996	0,005	0,013	0,068	0,241	0,783	0,064	0,015	0,013	0,013	0,011	0,008	0,005	0,103
1997	0,010	0,012	0,061	0,586	2,147	0,569	0,015	0,022	0,017	0,015	0,010	0,011	0,290
1998	0,005	0,009	0,065	1,333	0,150	0,070	0,037	0,022	0,014	0,011	0,006	0,005	0,144
1999	0,006	0,013	0,073	0,251	3,234	3,889	0,055	0,014	0,014	0,012	0,008	0,006	0,631
2000	0,007	0,014	0,095	0,808	0,914	0,312	0,054	0,032	0,020	0,016	0,009	0,007	0,191
2001	0,006	0,014	0,076	1,078	4,455	3,240	0,107	0,016	0,015	0,012	0,009	0,006	0,753
2002	0,010	0,011	0,057	0,098	0,993	1,190	0,015	0,020	0,016	0,015	0,010	0,011	0,204
2003	0,010	0,012	0,058	0,099	0,078	0,465	0,014	0,020	0,016	0,014	0,009	0,010	0,067
2004	0,009	0,022	0,050	0,509	2,375	0,026	0,025	0,021	0,017	0,023	0,017	0,008	0,258
2005	0,011	0,012	0,063	0,179	1,245	0,063	0,016	0,022	0,017	0,016	0,010	0,011	0,139
2006	0,008	0,020	0,045	0,596	0,914	0,181	0,022	0,018	0,015	0,021	0,015	0,008	0,155
2007	0,009	0,011	0,054	0,227	0,472	0,020	0,013	0,019	0,015	0,013	0,009	0,010	0,073
2008	0,007	0,009	0,016	0,578	0,526	0,013	0,013	0,014	0,015	0,015	0,014	0,014	0,103
2009	0,005	0,007	0,012	0,023	0,020	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,010	0,012
PROM	0,007	0,013	0,066	0,614	1,119	0,567	0,035	0,018	0,015	0,015	0,014	0,009	0,208

Fuente: Elaboración Propia

9.3.2. Demandas de Agua

En los cuadros 9.3.2-1 a 9.3.2-3 se indican las tasas y demandas brutas de riego obtenidas en el estudio agroeconómico para la situación Actual (año 0), Actual Optimizada (Sin Proyecto) y Futura Con Proyecto, respectivamente.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.3.2-1
TASAS Y DEMANDAS BRUTAS DE RIEGO ESTUDIO AGROECONÓMICO POR SECTOR - SITUACIÓN ACTUAL

Tasas de Riego (m^3/ha/mes)				Demandas Brutas (m^3/mes)			
1	2	2A	3	1	2	2A	3
1.354	1.411	0	1.208	7.619	103.326	0	123.931
3.739	2.119	0	3.111	21.043	155.112	0	325.894
1.178	1.237	0	1.067	6.627	90.577	0	111.750
1.238	1.344	0	1.141	6.968	99.602	0	110.286
974	1.318	1.177	1.121	11.907	127.389	11.770	102.839
1.484	1.564	2.402	1.248	19.425	175.282	24.020	114.502
1.962	1.948	3.729	1.431	25.682	214.784	37.290	106.843
1.116	2.305	5.096	1.587	12.760	252.223	50.960	104.896
562	2.250	4.771	1.375	10.625	248.090	47.710	100.651
569	2.123	4.162	1.276	10.757	234.027	41.620	83.692
1.616	1.929	3.586	1.201	30.538	212.622	35.860	100.621
833	1.580	0	986	16.796	139.962	0	97.067
16.625	21.128	24.923	16.752	180.747	2.052.996	249.230	1.482.972

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 9.3.2-2
TASAS Y DEMANDAS BRUTAS DE RIEGO ESTUDIO AGROECONÓMICO POR SECTOR - SITUACIÓN SIN PROYECTO (ACTUAL OPTIMIZADA)

Tasas de Riego (m^3/ha/mes)				Demandas Brutas (m^3/mes)			
1	2	2A	3	1	2	2A	3
1.003	1.246	0	1.020	5.645	91.239	0	104.682
944	1.145	0	992	5.315	83.807	0	103.921
1.087	1.143	0	1.051	6.118	83.670	0	110.065
1.143	1.242	0	1.122	6.433	92.083	0	108.433
899	1.218	1.038	1.099	10.993	117.729	10.380	100.786
1.369	1.445	2.120	1.226	17.925	161.959	21.200	112.456
1.811	1.799	3.290	1.407	23.705	198.279	32.900	105.066
1.029	2.128	4.496	1.568	11.772	232.823	44.960	103.651
519	2.077	4.210	1.354	9.813	228.994	42.100	99.093
526	1.960	3.673	1.250	9.931	216.015	36.730	81.980
1.492	1.780	3.164	1.176	28.183	196.268	31.640	98.532
769	1.459	0	970	15.510	129.203	0	95.501
12.591	18.642	21.991	14.235	151.343	1.832.069	219.910	1.224.166

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 9.3.2-3
TASAS Y DEMANDAS BRUTAS DE RIEGO ESTUDIO AGROECONÓMICO POR SECTOR - SITUACIÓN CON PROYECTO

Tasas de Riego (m^3/ha/mes)				Demandas Brutas (m^3/mes)			
1	2	2A	3	1	2	2A	3
1.061	1.187	846	942	9.040	98.509	13.611	263.363
1.068	1.112	847	895	9.100	92.310	17.889	271.935
1.284	1.125	1.024	953	10.941	93.377	21.628	289.723
1.264	1.151	1.287	1.028	10.768	113.031	24.607	289.038
795	1.205	1.042	980	40.432	144.051	39.585	306.983
1.466	1.425	1.538	1.096	75.824	189.128	58.425	340.434
2.053	1.773	2.536	1.345	106.229	200.858	65.745	315.182
948	2.092	3.822	1.509	49.046	237.046	79.803	329.528
470	2.047	3.578	1.387	29.307	231.960	74.709	302.835
582	1.931	2.897	1.206	36.315	218.813	66.283	244.377
1.616	1.753	2.233	1.039	100.858	198.588	62.335	267.919
729	1.409	812	886	49.737	133.969	7.343	258.510
13.336	18.208	22.462	13.266	527.596	1.951.639	531.962	3.479.827

Fuente: Elaboración Propia

Las tasas de riego del estudio agroeconómico se estiman a partir de la superficie especificada regada en cada mes. En relación con lo anterior, debido a que el modelo de simulación está diseñado para funcionar con una sola superficie de riego por sector para cada escenario, de la que se obtiene la seguridad de riego, las tasas fueron ajustadas para fines de cálculo, lo cual no afecta los resultados finales. Para obtener la tasa de riego corregida se dividió la demanda bruta mensual por la superficie del sector respectiva (Cuadro 9.3.3-1). De esta forma se obtiene la misma demanda bruta para cada mes, que corresponde al volumen total requerido en el área de riego, lo que se comprueba al comparar los valores de los cuadros anteriores con los presentados en los Cuadros 9.3.2-4 a 9.3.2-6.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.3.2-4
TASAS Y DEMANDAS BRUTAS DE RIEGO MODELO DE SIMULACIÓN POR SECTOR - SITUACIÓN ACTUAL

Tasas de Riego (m3/ha/mes)				Demandas Brutas (m3/mes)			
1	2	2A	3	1	2	2A	3
371	921	0	1.158	7.619	103.326	0	123.931
1.024	1.383	0	3.046	21.043	155.112	0	325.894
322	808	0	1.044	6.627	90.577	0	111.750
339	888	0	1.031	6.968	99.602	0	110.286
579	1.136	1.177	961	11.907	127.389	11.770	102.839
945	1.563	2.402	1.070	19.425	175.282	24.020	114.502
1.250	1.915	3.729	999	25.682	214.784	37.290	106.843
621	2.249	5.096	980	12.760	252.223	50.960	104.896
517	2.213	4.771	941	10.625	248.090	47.710	100.651
523	2.087	4.162	782	10.757	234.027	41.620	83.692
1.486	1.896	3.586	940	30.538	212.622	35.860	100.621
817	1.248	0	907	16.796	139.962	0	97.067
8.796	**18.309**	**24.923**	**13.861**	**180.747**	**2.052.996**	**249.230**	**1.482.972**

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 9.3.2-5
TASAS Y DEMANDAS BRUTAS DE RIEGO MODELO DE SIMULACIÓN POR SECTOR - SITUACIÓN ACTUAL OPTIMIZADA (SIN PROYECTO)

Tasas de Riego (m3/ha/mes)				Demandas Brutas (m3/mes)			
1	2	2A	3	1	2	2A	3
275	814	0	978	5.645	91.239	0	104.682
259	747	0	971	5.315	83.807	0	103.921
298	746	0	1.029	6.118	83.670	0	110.065
313	821	0	1.013	6.433	92.083	0	108.433
535	1.050	1.038	942	10.993	117.729	10.380	100.786
872	1.444	2.120	1.051	17.925	161.959	21.200	112.456
1.154	1.768	3.290	982	23.705	198.279	32.900	105.066
573	2.076	4.496	969	11.772	232.823	44.960	103.651
478	2.042	4.210	926	9.813	228.994	42.100	99.093
483	1.926	3.673	766	9.931	216.015	36.730	81.980
1.372	1.750	3.164	921	28.183	196.268	31.640	98.532
755	1.152	0	893	15.510	129.203	0	95.501
7.365	**16.339**	**21.991**	**11.442**	**151.343**	**1.832.069**	**219.910**	**1.224.166**

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 9.3.2-6
TASAS Y DEMANDAS BRUTAS DE RIEGO MODELO DE SIMULACIÓN POR SECTOR - SITUACIÓN FUTURA CON PROYECTO

Tasas de Riego (m^3/ha/mes)				Demandas Brutas (m^3/mes)			
1	2	2A	3	1	2	2A	3
132	723	324	762	9.040	98.509	13.611	263.363
133	678	426	787	9.100	92.310	17.889	271.935
159	685	515	839	10.941	93.377	21.628	289.723
157	830	586	837	10.768	113.031	24.607	289.038
589	1.057	943	889	40.432	144.051	39.585	306.983
1.105	1.388	1.391	985	75.824	189.128	58.425	340.434
1.548	1.474	1.565	912	106.229	200.858	65.745	315.182
715	1.740	1.900	954	49.046	237.046	79.803	329.528
427	1.703	1.779	877	29.307	231.960	74.709	302.835
529	1.606	1.578	707	36.315	218.813	66.283	244.377
1.470	1.458	1.484	776	100.858	198.588	62.335	267.919
725	983	175	748	49.737	133.969	7.343	258.510
7.690	14.325	12.666	10.073	527.596	1.951.639	531.962	3.479.827

Fuente: Elaboración Propia

9.3.3. Superficies de Cada Sector

De acuerdo con el estudio agroeconómico, las superficies máximas de cada sector de riego son las indicadas en el Cuadro 9.3.3-1.

CUADRO 9.3.3-1
SUPERFICIES MÁXIMAS DE CADA SECTOR

Sector de riego	Superficies (ha)	
	Situación Actual y Actual Optimizada	Situación Futura
Total Sector 1	20,5	68,6
Total Sector 2	112,1	136,2
Total Sector 2-A	10,0	42,0
Total Sector 3	107,0	345,5
Total Área de Estudio	249,7	592,3

Fuente: Elaboración Propia

9.3.4. Curvas Características del Embalse

Las curvas características del embalse se obtuvieron sobre la base de los planos de la restitución aerofotogramétrica de la zona de inundación del embalse. Para cada altura de agua, de metro en metro, hasta los 28 metros, se calculó la superficie inundada

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

correspondiente. El volumen parcial almacenado entre dos alturas de agua, corresponde al promedio de las superficies inundadas multiplicado por la diferencia de altura entre ambas superficies. El volumen total almacenado para cada altura, es la suma de los volúmenes parciales almacenados entre las superficies inundadas, desde la cota inicial del río, hasta la altura considerada.

En el Cuadro 9.3.4-1 se detalla las curvas características del embalse. Para los efectos del modelo, se utilizan relaciones analíticas deducidas a partir de estas curvas.

CUADRO 9.3.4-1
CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE

Cota Muro	Altura de Agua (m)	Superficie Inundada (ha)	Volumen Almacenado (hm^3)
3860	0	0,149	0,010
3861	1	0,297	0,010
3862	2	1,224	0,008
3863	3	1,328	0,020
3864	4	2,836	0,041
3865	5	4,052	0,076
3866	6	7,192	0,132
3867	7	9,136	0,213
3868	8	13,534	0,327
3869	9	17,680	0,483
3870	10	24,113	0,692
3871	11	32,587	0,975
3872	12	44,157	1,359
3873	13	54,089	1,850
3874	14	66,702	2,454
3875	15	79,951	3,188
3876	16	96,809	4,071
3877	17	116,021	5,135
3878	18	133,104	6,381
3879	19	147,254	7,783
3880	20	163,299	9,336
3881	21	177,166	11,038
3882	22	192,766	12,888
3883	23	205,855	14,881
3884	24	220,195	17,011
3885	25	233,518	19,280
3886	26	249,488	21,695
3887	27	263,402	24,259
3888	28	280,839	26,980

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Las expresiones analíticas que utiliza el modelo de simulación para el cálculo de la superficie inundada y de la altura de agua en el embalse (Y), en función del volumen almacenado (X), son las siguientes:

- **Cálculo de la superficie inundada**

$$Y = A \cdot X^{(B+C \cdot X)} + D \cdot X$$

Donde:

A = 23.983

B = 0.75107

C = -0.023745

D = 9.1475

En que X = volumen almacenado, en hm^3; Y = superficie inundada en hectáreas.

- **Cálculo de la altura de agua**

$$Y = A \cdot X^{(B+C \cdot LnX)} + D \cdot X - DELTA$$

Donde:

A = 10.752

B = 0.25638

C = -0.020335

D = 0.29742

Se calcula la corrección $DELTA = A \cdot X + B \cdot X^2 + C \cdot X^3$

A = 0.013852

B = -0.0020525

C = 0.000062062

En que X = volumen almacenado, en hm^3; Y = altura de agua en m.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

9.3.5. Evaporación del Embalse

El Volumen evaporado (Vev) desde el embalse se calcula como:

$$Vev = Sup \cdot Tev \cdot (0,7) \cdot 10^{-5}$$

En que:

Ev = Evaporación del embalse, en millones de m^3

Sup = Superficie inundada por el embalse, en hectáreas

Tev = Tasa de evaporación mensual, en mm;

(0,7) = Factor de embalse (Relación entre la evaporación desde el evaporímetro estandarizado clase A y la evaporación real en el embalse.)

Para definir las Tasas de Evaporación, se consideró los valores utilizados en el proyecto del embalse Umiña, cercano a la zona de estudio, que se indican en el Cuadro 9.3.5-1.

CUADRO 9.3.5-1
TASAS DE EVAPORACIÓN MENSUALES (mm)

Mes	Tasa de Evaporación
OCT	207,6
NOV	222,0
DIC	231,0
ENE	216,4
FEB	208,7
MAR	200,9
ABR	177,9
MAY	162,0
JUN	155,3
JUL	155,1
AGO	168,9
SEP	186,7
TOTAL	2292,5

Fuente: Elaboración Propia

El proceso de cálculo de la evaporación se hace mediante un programa computacional en la planilla de cálculo (macro), que permite efectuar iteraciones en el cálculo, mediante la secuencia siguiente:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

1° Volumen final estimado

2° Volumen medio = (Vol. Inicial + Volumen final estimado) / 2

3° Evaporación, a partir del Volumen medio (paso 2°)

4° Balance del embalse y cálculo del nuevo volumen final

5° Se repite desde el paso 2°, con el nuevo volumen final calculado en el paso 4°

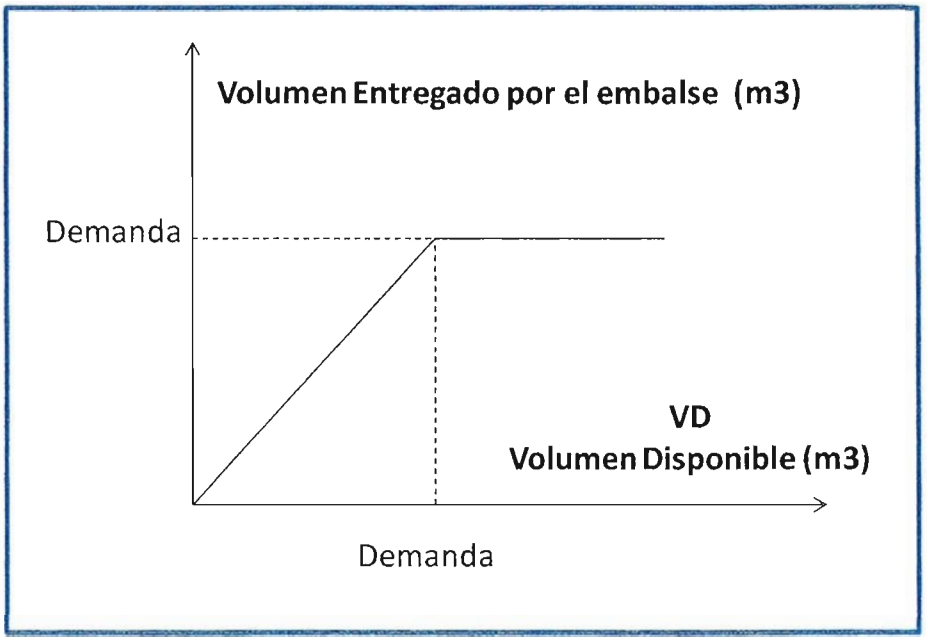
Se realizan 5 iteraciones, con lo cual se obtiene un error en el volumen almacenado promedio del orden de 10^{-6} hm^3.

9.4. PROCESOS DE CÁLCULO

9.4.1. Regla de Operación del Embalse

Para el sector bajo embalse, la regla de operación del embalse corresponde a la forma de definir las entregas de agua del embalse, en función del volumen disponible almacenado, según se puede observar en la Figura 9.4.1-1.

FIGURA 9.4.1-1
REGLA DE OPERACIÓN DEL EMBALSE



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 9.4.1-1 anterior, la operación del embalse se define de modo que se entrega de acuerdo a la demanda, hasta un máximo equivalente a la demanda del mes. Si el volumen disponible del embalse (VD) es menor, se entrega el volumen disponible.

9.4.2. Seguridad de Riego

La Seguridad de Riego se determina como el porcentaje de años en que se entregó un volumen menor de la Entrega Máxima de la Regla de Operación. Se calcula mediante la expresión siguiente:

$$SR = \frac{(N - Nf) \cdot 100}{N} (\%)$$

En que:

SR = Seguridad de Riego (%).

N = Número de años simulados

Nf = Número de años "fallados"

Para la determinación de "año fallado", se adopta el criterio de cálculo establecido en el Ley 18.450, esto es, que se considera año fallado a aquel en que en un mes se entregue menos del 85% de la demanda o cuando en dos meses consecutivos se entregue menos del 90% de la demanda.

9.4.3. Parámetros del Modelo

En la Figura 9.4.3-1 se detalla los parámetros que se ingresan al modelo de simulación (En fondo amarillo y números en rojo). Se indica en el ejemplo los parámetros del escenario N° 2, con embalse.

Los parámetros se agrupan de acuerdo con lo siguiente:

- Superficies de cada sector
- Parámetros del embalse
- Parámetros de la central hidroeléctrica a pie de embalse

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 9.4.3-1
PARÁMETROS QUE SE INGRESAN AL MODELO DE SIMULACIÓN

MODELO DE SIMULACION EMBALSE UMIRPA

Escenario: ESC 2 - FUTURA CON EMBALSE 85%

SECTOR	Superficie (has)	Volumen Dda Anual (Hm3)	Vol. Anual Entregado (Hm3)	N° Años Fallados	Seguridad de riego (%)
1	68.6	0.528	0.522	3	88.9
2	136.2	1.952	1.888	4	85.2
2 -A	42.0	0.532	0.054	27	0.0
3	345.5	3.480	3.354	4	85.2
TOTALES	592.3	6.491	5.818		

Parámetros

Volumen útil embalse superficial	15.3	Hm3
Volumen máximo embalse subterráneo	3.8	Hm3
Volumen muerto del embalse Umirpa	2.8	Hm3
Volumen inicial embalse subterráneo	1.2	Hm3
Volumen inicial del embalse superficial	0.0	Hm3
Capacidad de conducción proyecto tubería	0	m3/s
Percolación profunda, fracción del volumen	0.05	(°/1)
Superficie del sector 3 que se puede abastecer con canales y bombeo	50.63	(has)

MINICENTRAL HIDROELECTRICA PIE DE EMBALSE

Caudal de diseño central	0.30	(m3/s)
Caudal minimo central	0.10	(m3/s)
Altura de diseño central	25	(m)
Altura minima de operación	10	(m)

Fuente: Elaboración propia.

9.4.4. Secuencia de Cálculo y Resultados

En los procesos del modelo, se ingresa en primer lugar los parámetros del escenario indicados anteriormente. Una vez que se ingresa los datos y parámetros del escenario a procesar, se efectúa un ciclo de cálculo para cada mes y año de la estadística de caudales medios mensuales, según se detalla en Cuadro 9.4.4-1.

CUADRO 9.4.4-1
SECUENCIA DE CÁLCULO DEL MODELO DE SIMULACIÓN

N° MATRIZ	CONTENIDO
1	Caudales medios mensuales afluentes al embalse
2	Volumen inicial del embalse superficial
3	Volumen final aproximado (para cálculo de volumen medio)
4	Volumen medio incluyendo el volumen muerto (para cálculo de evaporación)

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.4.4-1
SECUENCIA DE CÁLCULO DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Nº MATRIZ	CONTENIDO
5	Superficie inundada media del embalse, en hectáreas
6	Volumen de evaporación del embalse
7	Volumen disponible para entregar
8	Caudales de Rebases del embalse - valor aproximado para iteración y cálculo de entrega del embalse
9	Volumen entregado por el embalse
10	Volumen final del embalse
11	Caudal Rebases del embalse
12	Caudal total en nodo 2, salida del embalse
13	Caudal que capta el sector 1
14	Caudal que sale del nodo 2 y llega al nodo 3
15	Caudal que capta el sector 2
16	Caudal que sale del nodo 3
17	Volumen inicial del embalse subterráneo
18	Volumen Percolación profunda (Pérdida neta)
19	Volumen disponible subterráneo para almacenar recarga
20	Caudal captado por proyecto de tubería
21	Caudal de pérdidas en tramo nodos 3 - 5 (Recarga)
22	Caudal Rebases del embalse subterráneo (caudal superficial)
23	Caudal que llega al nodo 4
24	Caudal captado por la Zona 2-A, en el nodo 4
25	Caudal de Déficit de la Zona 2-A, después de captar el caudal del nodo 4
26	Caudal que capta sector 2 - A
27	Caudal que llega al nodo 5
28	Caudal que captan los canales del sector 3 (Chaca)
29	Caudal de Déficit del sector 3 (Chaca), después de captación de canales y tubería (Lo que se debe bombear)
30	Volumen disponible para bombeo en embalse subterráneo
31	Caudal de bombeo Sector 3 (Chaca)
32	Caudal Total recibido por sector 3 = Canales + Tubería + bombeo
33	Volumen final embalse subterráneo
34	Demanda suplida del sector 1 (%)
35	Fallas del sector 1
36	Demanda suplida del sector 2 (%)
37	Fallas del sector 2
38	Demanda suplida del sector 2-A (%)
39	Fallas del sector 2 A
40	Demanda suplida del sector 3 (%)
41	Fallas del sector 3
42	Verificación embalse superficial
43	Verificación embalse subterráneo
44	Volumen de Demandas considerando los aportes de crecidas en el río

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 9.4.4-1
SECUENCIA DE CÁLCULO DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Nº MATRIZ	CONTENIDO
45	Volumen de Demandas considerando los aportes de crecidas en el río (Para cálculo)
46	Alturas de agua en el embalse (m)
47	Caudales de generación a pie de embalse (m3/s)
48	Potencias de Generación (MW)
49	Caudales de tubería en último tramo (generable)
50	Potencia de Generación a pie de tubería (MW)

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el modelo entrega los resultados siguientes:

- Seguridad de riego de cada sector
- Volumen anual promedio entregado a cada sector
- Volumen promedio del embalse superficial
- Rebases del embalse
- Volumen de Evaporación
- Caudal de evaporación
- Caudal de pérdidas en tramo nodos 3 - 5 (Recarga)
- Caudal promedio bombeo
- Volumen promedio del embalse subterráneo

9.4.5. Cálculo de la Energía Generada

En términos generales, la Potencia de generación, se calcula con la expresión siguiente:

$$P = 9{,}8 \cdot \eta \cdot Q \cdot H$$

En que:

P = Potencia de generación, en KW

η = Eficiencia total de los equipos, que se desglosa en:

(Eficiencia turbina, obtenida de las curvas del fabricante) * (Eficiencia del generador) * (Eficiencia del transformador)

La eficiencia de la turbina se obtiene de las curvas de los equipos, en función del caudal de generación. La Eficiencia del generador y la Eficiencia del transformador se

obtienen de las especificaciones de los equipos. Para este caso, se adoptará los valores siguientes, que corresponden a promedios conservadores de estas eficiencias:

Eficiencia turbina = 0,90

Eficiencia del generador=0,98

Eficiencia del transformador=0,985

Eficiencia total de los equipos = 0,87

Q = Caudal turbinado, m^3/s.

H = Altura neta = (Altura bruta - Pérdidas de carga)

La altura bruta de agua considera la suma de la altura de agua del volumen muerto más la altura de agua del volumen útil, ya que la cota de entrega de agua de la turbina estaría muy cercana a la cota del río.

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 adoptará que las pérdidas de carga son de un 5% de la altura bruta.

Con estas consideraciones, la Potencia de generación es la siguiente:

$$P = 9{,}8 \cdot 0{,}87 \cdot Q \cdot (0{,}95 \cdot H) = 8{,}1 \cdot Q \cdot H$$

A partir del cálculo de la potencia de generación P, se calcula la Energía generada como:

$$E = P \cdot \frac{T(N^{o}\ de\ horas)}{10^5}\ (GWh)$$

9.5. RESULTADOS OBTENIDOS

9.5.1. Escenario N° 1, de Situaciones Actual y Actual Optimizada (Sin Proyecto)

Las Situaciones Actual y Actual Optimizada se representan en el modelo ingresando el valor cero (0) como volumen del embalse.

En primer lugar, se realzó una calibración y verificación del modelo, para determinar los parámetros del embalse subterráneo (volumen máximo, volumen inicial y coeficiente de percolación). Para esto, se consideró los antecedentes del estudio agroeconómico realizado en la zona de Chaca, en el cual se estableció que en la actualidad se riegan 107 hectáreas con una seguridad que se puede asimilar a un 85%, mediante el uso de pozos de bombeo y aportes del invierno altiplánico en forma eventual a una parte de la superficie (50,6 has).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Mediante sucesivas iteraciones del modelo se determinó lo siguiente:

- En la Situación Actual el menor volumen del embalse subterráneo que permite el riego de 107 ha en el sector de Chaca con seguridad de 85% es de 3,8 hm^3, comenzando la simulación con un volumen mínimo de 1,2 hm^3.
- El mayor coeficiente de percolación para la situación anteriormente descrita es de 0,05.

Por lo tanto, se adoptan los valores de los parámetros indicados, ya que corresponden a valores conservadores del recurso de agua disponible y están de acuerdo con lo observado de la situación actual.

En el Cuadro 9.5.1-1 se incluye el resumen de los datos, parámetros y resultados del modelo de simulación, para el escenario de Situación Actual.

CUADRO 9.5.1-1
RESULTADOS GENERALES MODELO DE SIMULACIÓN
ESCENARIO 1 – SITUACIÓN ACTUAL

MODELO DE SIMULACION EMBALSE UMIRPA

Escenario: **ESC 1 - SITUACION ACTUAL SIN EMBALSE**

SECTOR	Superficie (has)	Volumen Dda Anual (Hm3)	Vol. Anual Entregado (Hm3)	Nº Años Fallados	Seguridad de riego (%)
1	20.5	0.181	0.181	0	100.0
2	112.1	2.053	1.470	27	0.0
2 -A	10.0	0.249	0.066	27	0.0
3	107.0	1.483	1.461	4	85.2
TOTALES	249.7	3.966	3.179		

Parámetros

Volumen útil embalse superficial	0.0	Hm3
Volumen máximo embalse subterráneo	3.8	Hm3
Volumen muerto del embalse Umirpa	2.8	Hm3
Volumen inicial embalse subterráneo	1.2	Hm3
Volumen inicial del embalse superficial	0.0	Hm3
Capacidad de conducción proyecto tubería	0	m3/s
Percolación profunda, fracción del volumen	0.05	(°/1)
Superficie del sector 3 que se puede abastecer con canales y bombeo	50.63	(has)

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

En el Cuadro 9.5.1-1 anterior, se puede observar que el sector 3 de Chaca tiene una seguridad de riego de 85% para la superficie actual de 107,9 has, al igual que el sector 1, que tiene 100% de seguridad para las 20,5 ha actuales.

Lo anterior coincide con lo que se observa en terreno, en el sentido que la zona 1 y 3 no tienen problemas de abastecimiento de agua de riego.

Por otra parte, para la Situación Actual Optimizada, proyección en el futuro de la situación actual sin considerar el proyecto, debido a la mayor eficiencia de riego, la seguridad de riego en el sector 3 aumenta a un 100% (Cuadro 9.5.1-2).

CUADRO 9.5.1-2
RESULTADOS GENERALES MODELO DE SIMULACIÓN
ESCENARIO 1 – SITUACIÓN ACTUAL OPTIMIZADA

MODELO DE SIMULACION EMBALSE UMIRPA						
Escenario	ESC 1 - SITUACION ACTUAL OPTIMIZADA SIN EMBALSE					
SECTOR	**Superficie (has)**	**Volumen Dda Anual (Hm3)**	**Vol. Anual Entregado (Hm3)**	**N° Años Fallados**	**Seguridad de riego (%)**	
1	**20,5**	0,151	0,151	0	**100,0**	
2	**112,1**	1,832	1,109	27	**0,0**	
2 -A	**10,0**	0,220	0,023	27	**0,0**	
3	**107,0**	1,224	1,224	0	**100,0**	
TOTALES	**249,7**	**3,427**	**2,507**			
Parámetros						
Volumen útil embalse superficial					**0,0**	Hm3
Volumen máximo embalse subterráneo					**3,8**	Hm3
Volumen muerto del embalse Umirpa					**2,8**	Hm3
Volumen inicial embalse subterráneo					**1,2**	Hm3
Volumen inicial del embalse superficial					**0,0**	Hm3
Capacidad de conducción proyecto tubería					**0**	m3/s
Percolación profunda, fracción del volumen					**0,05**	(%/1)
Superficie del sector 3 que se puede abastecer con canales y bombeo					**50,63**	(has)

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 9.5.1-3 siguiente se detallan otros resultados del modelo de simulación, en relación a variables relevantes de la operación del sistema.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 9.5.1-3
RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN – VARIABLES RELEVANTES
ESCENARIO 1 – SITUACIÓN ACTUAL Y ACTUAL OPTIMIZADA.

Variable	Unidad	Situación Actual	Situación Actual Optimizada
Volumen promedio del embalse superficial	hm^3	0	0
Rebases del embalse	(m^3/s)	0,463	0,463
Volumen de Evaporación	hm^3	0	0
Caudal de evaporación	(m^3/s)	0	0
Caudal de pérdidas en tramo nodos 3 - 5 (Recarga)	(m^3/s)	0,087	0,083
Caudal promedio bombeo	(m^3/s)	0,044	0,036
Volumen promedio del embalse subterráneo	hm^3	2,298	2,500

Fuente: Elaboración propia.

9.5.2. Escenario Nº 2: Con Proyecto de Embalse

En el Cuadro 9.5.2-1 se resume los parámetros y resultados del escenario 2, con proyecto de embalse Umirpa.

Se puede observar que para que se pueda regar el total de la superficie posible en todos los sectores, se debe considerar un embalse de 15,3 hm^3 de volumen útil.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.5.2-1
RESULTADOS GENERALES MODELO DE SIMULACIÓN - ESCENARIO 2

MODELO DE SIMULACION EMBALSE UMIRPA

Escenario: ESC 2 - FUTURA CON EMBALSE 85%

SECTOR	Superficie (has)	Volumen Dda Anual (Hm3)	Vol. Anual Entregado (Hm3)	Nº Años Fallados	Seguridad de riego (%)
1	68.6	0.528	0.522	3	88.9
2	136.2	1.952	1.888	4	85.2
2 -A	42.0	0.532	0.054	27	0.0
3	345.5	3.480	3.357	4	85.2
TOTALES	592.3	6.491	5.822		

Parámetros

Volumen útil embalse superficial	15.3	Hm3
Volumen máximo embalse subterráneo	3.8	Hm3
Volumen muerto del embalse Umirpa	2.8	Hm3
Volumen inicial embalse subterráneo	1.2	Hm3
Volumen inicial del embalse superficial	0.0	Hm3
Capacidad de conducción proyecto tubería	0	m3/s
Percolación profunda, fracción del volumen	0.05	(°/1)
Superficie del sector 3 que se puede abastecer con canales y bombeo	50.63	(has)

MINICENTRAL HIDROELECTRICA PIE DE EMBALSE

Caudal de diseño central	0.30	(m3/s)
Caudal minimo central	0.10	(m3/s)
Altura de diseño central	25	(m)
Altura minima de operación	10	(m)

RESULTADOS

Altura de agua promedio del embalse	21.253	(m)
Caudal de generación promedio	0.191	(m3/s)
Potencia Instalada	0.061	MW
Potencia de generación promedio	0.033	MW
Factor de Planta	0.548	(°/1)

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 9.5.2-2 se detallan otros resultados del modelo de simulación, en relación a variables relevantes de la operación del sistema, para el escenario con embalse.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 9.5.2-2
RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN – VARIABLES RELEVANTES
ESCENARIO 2 – SITUACIÓN CON PROYECTO DE EMBALSE

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Volumen promedio del embalse superficial	Hm3	9.337
Rebases del embalse	(m3/s)	0.260
Volumen de Evaporación	Hm3	0.232
Caudal de evaporación	(m3/s)	0.089
Caudal de pérdidas en tramo nodos 3 - 5 (Recarga)	(m3/s)	0.144
Caudal promedio bombeo	(m3/s)	0.105
Volumen promedio del embalse subterráneo	Hm3	1.970

Fuente: Elaboración propia.

9.5.3. Escenario Nº 3: Con Proyecto de Embalse y Tubería de Distribución

En el Cuadro 9.5.3-1 se resume los parámetros y resultados del escenario 3, el cual considera el proyecto de embalse Umirpa y una tubería de distribución hacia el sector 2-A y el sector 3 de Chaca.

A su vez, en el Cuadro 9.5.3-2 siguiente se detallan otros resultados del modelo de simulación, en relación a variables relevantes de la operación del sistema, para el escenario con embalse y tubería de distribución.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.5.3-1
RESULTADOS GENERALES MODELO DE SIMULACIÓN - ESCENARIO 3

MODELO DE SIMULACION EMBALSE UMIRPA

Escenario: ESC 3 - FUTURA CON EMBALSE Y TUBERIA

SECTOR	Superficie (has)	Volumen Dda Anual (Hm3)	Vol. Anual Entregado (Hm3)	Nº Años Fallados	Seguridad de riego (%)
1	68.6	0.528	0.522	3	88.9
2	136.2	1.952	1.888	4	85.2
2 -A	42.0	0.532	0.510	4	85.2
3	345.5	3.480	3.318	4	85.2
TOTALES	592.3	6.491	6.237		

Parámetros

Volumen útil embalse superficial	15.3	Hm3
Volumen máximo embalse subterráneo	3.8	Hm3
Volumen muerto del embalse Umirpa	2.8	Hm3
Volumen inicial embalse subterráneo	1.2	Hm3
Volumen inicial del embalse superficial	0.0	Hm3
Capacidad de conducción proyecto tubería	0.16	m3/s
Percolación profunda, fracción del volumen	0.05	(°/1)
Superficie del sector 3 que se puede abastecer con canales y bombeo	50.63	(has)

MINICENTRAL HIDROELECTRICA PIE DE EMBALSE

Caudal de diseño central	0.30	(m3/s)
Caudal minimo central	0.10	(m3/s)
Altura de diseño central	25	(m)
Altura minima de operación	10	(m)

RESULTADOS

Altura de agua promedio del embalse	21.242	(m)
Caudal de generación promedio	0.191	(m3/s)
Potencia Instalada	0.061	MW
Potencia de generación promedio	0.033	MW
Factor de Planta	0.548	(°/1)

MINICENTRAL HIDROELECTRICA EN FINAL DE TUBERIA

Altura neta Tramo Final Tubería	118.55	(m)
Caudal de diseño central	0.160	(m3/s)
Caudal minimo central	0.050	(m3/s)
Potencia Instalada	0.154	MW

RESULTADOS

Caudal de generación promedio	0.104	(m3/s)
Potencia de generación promedio	0.100	MW
Factor de Planta	0.650	(°/1)

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 9.5.3-2
RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN – VARIABLES RELEVANTES
ESCENARIO 3 – CON PROYECTO DE EMBALSE Y TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Volumen promedio del embalse superficial	Hm3	9.320
Rebases del embalse	(m3/s)	0.260
Volumen de Evaporación	Hm3	0.232
Caudal de evaporación	(m3/s)	0.089
Caudal de pérdidas en tramo nodos 3 - 5 (Recarga)	(m3/s)	0.035
Caudal promedio bombeo	(m3/s)	0.003
Volumen promedio del embalse subterráneo	Hm3	1.696

Fuente: Elaboración propia.

9.6. RESUMEN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el Cuadro 9.6-1 siguiente se resume los resultados obtenidos con el modelo de simulación.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.6-1
RESUMEN DE RESULTADOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Parámetros del Escenario	Unidad	ESC 1		ESC 2	ESC 3
		Actual	Actual Optimizada	Con Embalse	Con emb y Tub
Volumen útil embalse superficial	hm^3	0	0	15,3	15,3
Volumen máximo embalse subterráneo	hm^3	3,8	3,8	3,8	3,8
Volumen muerto del embalse Umirpa	hm^3	0	0	2,8	2,8
Volumen inicial embalse subterráneo	hm^3	1,2	1,2	1,2	1,2
Volumen inicial del embalse superficial	hm^3	0	0	0	0
Capacidad de conducción proyecto tubería	m^3/s	0	0	0	0,16
Percolación profunda, fracción del volumen	(°/1)	0,05	0,05	0,05	0,05
Resultado					
Volumen promedio del embalse superficial	hm^3	0	0	9,337	9,32
Rebases del embalse	m^3/s	0,463	0,463	0,26	0,26
Volumen de Evaporación	hm^3	0	0	0,232	0,232
Caudal de evaporación	m^3/s	0	0	0,089	0,089
Caudal de pérdidas en tramo nodos 3 - 5 (Recarga)	m^3/s	0,087	0,083	0,144	0,035
Caudal promedio bombeo	m^3/s	0,044	0,036	0,105	0,003
Volumen promedio del embalse subterráneo	hm^3	2,298	2,500	1,97	1,696
Superficies regadas con seguridad 85%					
Sector 1	ha	20,5	20,5	68,6	68,6
Sector 2	ha	14	15	136,2	136,2
Sector 2 -A	ha	0	0	0	42
Sector 3	ha	107	107	345,5	345,5
Total	ha	141,5	142,5	550,3	592,3

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la base de los resultados obtenidos, se indican las siguientes conclusiones:

- En la situación actual se riega un total de 141,5 ha con seguridad de 85%, de las cuales 107 corresponden al sector de Chaca y el resto a los sectores 1 y 2.
- En la situación actual Optimizada (futura sin proyecto) se riega un total de 142,5 ha con seguridad de 85%, de las cuales 107 corresponden al sector de Chaca y el resto a los sectores 1 y 2.
- En el escenario 2, con embalse, es posible regar un total de 550 ha con seguridad de 85%, para lo cual se requiere un embalse con volumen útil de 15,3 hm^3.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

- En el escenario 3, con embalse y tubería de distribución, es posible regar un total de 592,3 ha con seguridad de 85%, para lo cual se requiere un embalse con volumen útil de 15,3 hm^3 y una tubería de distribución a los sectores 2-A y 3, de 160 l/s de capacidad.
- La evaporación que se registra en el embalse es en promedio de 0,23 hm^3 mensuales, lo que equivale a un caudal continuo de 89 l/s. Este valor representa un 16,2% del caudal promedio afluente al embalse.
- En el escenario 3 se observa que el sector 3 de Chaca no se realizan bombeos, salvo en muy pocos meses en forma esporádica, (caudal promedio de bombeo de 3 L/s), debido a que esta zona se abastece directamente con la tubería. Esto representa un ahorro en el costo actual del bombeo en los pozos.
- Se observa que el volumen del embalse subterráneo tiene una variación hacia valores más bajos en el escenario 2 (con embalse) con respecto al escenario 1 (actual), debido a un mayor uso del agua, ya que se considera una mayor superficie regada y por lo tanto una mayor demanda. En el escenario 3 (con embalse y tubería), el volumen del embalse subterráneo baja aún más, debido a que se disminuye la recarga del acuífero, la cual es conducida por la tubería proyectada.
- La generación hidroeléctrica que es posible obtener, supeditada a las entregas de agua para riego, son las siguientes:
- Minicentral a pie de embalse: 61 KW de potencia instalada, con una potencia media de generación de 33 KW.
- Minicentral en final del tramo de tubería, 154 KW de potencia instalada, con una potencia media de generación de 100 KW.
- Se observa que las potencias de generación son muy pequeñas como para considerar un proyecto de línea de transmisión hacia un nudo del sistema interconectado o centro de consumo lejano. Por lo tanto, el posible aprovechamiento hidroeléctrico del proyecto se podría considerar de tipo local, como por ejemplo, la iluminación de las instalaciones del embalse o similar.

9.7. ANEXOS DIGITALES

Se adjunta el Anexo 9-1 con las planillas electrónicas correspondientes a cada uno de los escenarios del modelo de simulación.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

10. DISEÑOS PRELIMINARES

10.1. PRESENTACIÓN

Con el fin de determinar los costos asociados a cada escenario de proyecto, se realizaron los diseños simplificados de las siguientes obras:

- Embalse y sus Obras Anexas
- Conducción y Distribución
- Obras Complementarias
- Mini Central Hidroeléctrica

10.2. CAPACIDADES DE EMBALSE

Se definieron tres capacidades de Embalse para obtener una curva de costos, los tamaños se eligieron de acuerdo a la forma de la curva de embalse, morfología de la poza de inundación y disponibilidad del recurso. Las capacidades se describen a continuación:

- **Capacidad Máxima:** se definió bajo los siguientes antecedentes:
  - La amplitud de la tasa generada por el embalse impide que el muro supere los 29 metros ya que no se cuenta con la restitución necesaria para generar los bordes del área de inundación
  - Con valores cercanos a dicha altura de muro se alcanza el máximo de volumen posible de embalsar, es decir, no se dispone de más recursos hídricos en el punto.
- **Capacidad Media**: esta permite generar la curva de costos del embalse al generar un punto intermedio entre las otras dos capacidades.
- **Capacidad Mínima:** Capacidad utilizada en la etapa anterior que permitía el riego con seguridad de 85% de seguridad en la parte Alta del Valle (Vila Vila - Ofragía), según los resultados del modelo de simulación Preliminar.

Con estas tres capacidades se deseó obtener buenas estimaciones para el espectro de costos del embalse propuesto.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Luego se continuó con la determinación de las alturas de muro asociadas a cada capacidad de embalse, para lo cual se calculó el Volumen Umbral.

El Volumen Umbral es la suma del Volumen Muerto y del Volumen Útil. Este volumen define la altura que debe tener el muro antes de comenzar a verter el agua por sus obras de evacuación de crecidas. La altura que tenga el muro desde este punto hacia arriba se considera como revancha.

El Volumen Muerto corresponde al volumen estimado de sedimentos que se acumularán en el embalse producto de arrastre generado por el flujo del río durante un periodo de 50 años (vida útil del proyecto) y que es independiente a la capacidad total de éste. Por otra parte, el Volumen Útil corresponde a aquel que es utilizado efectivamente por los actores beneficiados por el proyecto.

El volumen muerto se obtiene a partir de la estimación del gasto de sedimentos totales (GST) que se compone del gasto de sedimentos en suspensión (GSS) y el gasto de sedimentos de fondo (GSF). Para la estimación del GSS del embalse, se aplicaron diferentes métodos simplificados indicados a continuación:

- Tasa Regional: En el embalse Cogotí, IV Región, se determinó una tasa de producción anual de sedimento como resultado de un estudio de sedimentación del embalse (López et al, 1993) al igual que en Colbún (1993), en dichos estudios se obtuvo una tasa regional de 0,30 mm/año.
- Tasa US: Corresponde a un promedio obtenido en diversas cuencas de Estados Unidos, la que es igual a 0,24 mm/año.
- Método de Dendy & Bolton: ecuación obtenida de evaluar alrededor de 800 embalses en los Estados Unidos para estimar la producción de sedimentos en cuencas. Considera tanto el caudal medio anual, como el área de la cuenca aportante al embalse.
- Metodología USBR (Design of Small Dams, 1974, pág. 768).
- Correlación del caudales medios mensuales v/s sedimentos diarios y obtención de la curva tipo Qs=a*QLb. A partir de las mediciones en la estación sedimentológica Tocontasi, en el río Lluta.

Los cálculos y resultados de la estimación del GSS se presentan en el Estudio Hidrológico del presente estudio y el valor es 1,39 hm^3.

Para estimar el gasto sólido correspondiente al arrastre de fondo se aplicaron las siguientes expresiones: Meyer-Peter (1948), Wilson (1966), Engelund (1976), Fernández-Luque (1976), Einstein (1950) y Ashida-Michiue (1972). Los cálculos y resultados se encuentran en el acápite 6.4 del Capítulo 6.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

En el Cuadro 10.2-1 se resumen los valores obtenidos para la estimación del Volumen Muerto.

CUADRO 10.2-1
VOLUMEN MUERTO

Tipo de sedimento	Volumen 50 años (hm3)
Gasto Sólido Suspendido (GSS)	1,38
Gasto Sólido de Fondo (GSF)	1,39
Gasto Sólidos Totales (GST)	2,8

Fuente: Elaboración Propia

Para la elección del Volumen Útil, se buscaron valores que permitieran caracterizar todo el espectro de embalses factibles. Por esta razón se eligieron los volúmenes indicados en el Cuadro 10.2-2.

CUADRO 10.2-2
VOLUMEN ÚTIL

Capacidades de Embalse	Volumen Útil (hm^3)
Mínima	4,10
Media	9,80
Máxima	20,0

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente el Volumen Umbral obtenido para las distintas capacidades de presa se resume en el Cuadro 10.2-3 junto a la altura necesaria para embalsar dicho volumen, la cual se calcula a partir de la curva de embalse.

CUADRO 10.2-3
VOLUMEN UMBRAL

Capacidades de Embalse	Volumen Muerto		Volumen Útil	Volumen Umbral	
	(hm3)	(h)	(hm^3)	(hm^3)	(h)
Mínima	2,80	14,50	4,10	6,90	18,39
Media	2,80	14,50	9,80	12,60	21,84
Máxima	2,80	14,50	20,00	22,80	26,44

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

Del Cuadro 10.2-3 se puede desprender que la altura de muro asociada a la capacidad máxima no supera los 27 m de alto. Considerando que se desea una revancha máxima de 3 metros, la altura máxima de muro no superaría los 30 metros.

Además, de la curva de embalse, se sabe que el volumen almacenado para un muro de 30 metros alcanza un valor cercano a los 33 hm^3.

10.3. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PRESA

10.3.1. Conclusiones de la Exploración y de los Ensayes

De la exploración efectuada y de los ensayes de laboratorio realizados, se concluye lo siguiente:

1. El sitio en estudio es adecuado para la construcción de un muro del tipo Hormigón Rodillado (RCC), pero se debe tener la precaución de fundar toda la estructura en roca sana, la que es de muy buenas características morfológicas y presenta características de esfuerzo deformación más que adecuadas para la obra proyectada

2. Antes de fundar la estructura proyectada, se debe retirar toda la sobrecarga detectada en los pozos de exploración y sondajes.

3. Se debe tener especial cuidado en las faenas de excavación y preparación de los estribos para el tipo de presa recomendado, debido al peligro de desprendimientos y derrumbes en las paredes del valle, siempre asociados a este tipo de trabajos.

4. El diseño contempla el apoyo total de la estructura (muro) en roca sana, con la finalidad de controlar principalmente las filtraciones o pérdidas de carga a través del suelo de fundación. Esto implica faenas específicas de preparación del terreno antes de la ejecución de los hormigones masivos

Respecto del material detectado en el área de yacimiento, se tienen las siguientes conclusiones en cuanto a su utilización para la construcción de una presa del tipo RCC (Roller Compacted Concrete)

1. El material encontrado en el área de yacimientos, clasifica principalmente en el sistema USCS GP y GW, es decir, corresponde a una grava que va de pobremente graduada a bien graduada

2. Para sectores del área de empréstito, que presenten mucho material fino (mayor a 5% bajo 0,08 mm) será necesario "parrillar" el material para obtener las partículas sobre 5 mm, si se estima necesaria su utilización en la preparación de hormigones.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

3. Las muestras analizadas, se tiene un porcentaje de finos inferior al 5%, lo que se debe tener presente en el diseño de la mezcla para el hormigón rodillado.

4. La autorización del material detectado en los yacimientos para ser chancado o parrillado, y ser utilizado en la preparación del hormigón para la construcción del muro, finalmente pasa por el especialista respectivo, el que decidirá a partir de las características estructurales de este proyecto y de los resultados de los ensayes específicos para tal efecto.

– Material Fino bajo 0,08 mm	NCh	1223
– Impurezas Orgánicas	NCh	166
– Partículas desmenuzables % máx.	NCh	1327
– Partículas Blandas % máx.	NCh	170 Anexo E
– Sales agresivas (kg/m^3 de hormigón	NCh	1444/1
– Carbón y Lignito % máx.	NCh	170 Anexo E
– Resistencia a la desintegración	NCh	1328
– Resistencia al desgaste	NCh	1369
– Absorción de agua % máx.	NCh	1117
	NCh	1239
– Coeficiente volumétrico medio	NCh	1511

10.3.2. Propiedades Mecánicas

Para el análisis de deformaciones del suelo de fundación y de resistencia al corte, se consideraron los parámetros geomecánicos obtenidos a partir del RMR (Rock Mass Rating System, After Bieniawski 1989).

De la exploración ejecutada, sondajes S-1 a S-3, para efectos de diseño se ha adoptado RQD mayor al 80% para la roca por debajo de los 4,50 m de profundidad, lo que indica que corresponde a un material de características buenas a muy buenas. Respecto de la resistencia de este material, en la descripción geológica del sector, como en la descripción de los sondeadores, se señaló que el material detectado es de una alta dureza. Los resultados de los ensayes de resistencia a la compresión uniaxial y densidad de testigos en roca se indican en el Cuadro 10.3.2-1, mediándose los valores indicados en dicho cuadro.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.3.2-1
RESULTADOS ENSAYES EN ROCA

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	σc (MPa)	Densidad seca (Kg/L)
1	A1S1	10.00 – 10.20	103	2,47
	A1S1	8.60 – 8.75	117	2,40
2	A1S2	19.90 - 20.40	132	2,45
	A1S2	16.10 – 16.23	139	2,46
	A1S2	14.80 – 15.00	125	2,47
3	A1S3	14.15 – 14.50	140	2,48
	A1S3	8.35 – 8.58	136	2,44

Fuente: Dictuc, Anexo 10-1

El valor del RMR "Rock Mass Rating" (Bieniawski, 1976, 1989), se determina a través de la siguiente expresión

$$RMR = A(1) + A(2) + A(3) + A(4) + A(5) + B$$

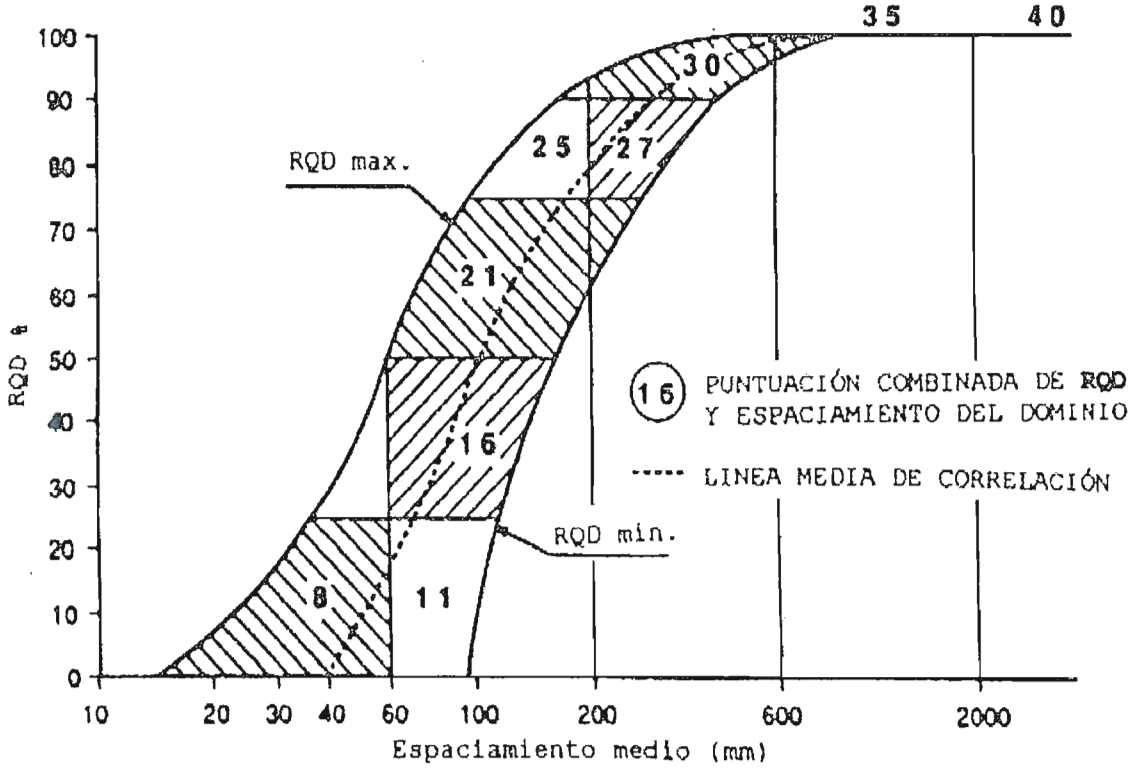
Donde:

A (1) = Parámetro de resistencia de la roca intacta (resistencia a la compresión uniaxial).
A (2) = Parámetro de RQD (Rock Quality Designation)
A (3) = Parámetro de espaciamiento entre las discontinuidades.
A (4) = Parámetro de condiciones de la rugosidad de las discontinuidades.
A (5) = Parámetro de influencia del agua.
B = Parámetro de orientación de las discontinuidades

En la Figura 10.3.2-1 se presenta el gráfico de correlación entre el RQD y espaciamiento de discontinuidades, mientras que el Cuadro 10.3.2-2 la clasificación de las rocas según Bieniawski – 1989.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.3.2-1
CORRELACIÓN ENTRE RQD Y ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES



Fuente: Bieniawski, 1976, 1989

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.3.2-2
RMR ROCK MASS RATING SYSTEM (AFTER BIENIAWSKI 1989)

A.CLASIFICATION PARAMETYERS AND THEIR RATING									
Parameter			Ranges of values						
1	Strength of Intact rock material	Point Load strength index	>10 MPa	4–10 MPa	2–4 MPa	1 – 2 MPa	For this low range Uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial Compressive strength	>250 MPa	100–250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of joints		>3 m	1-3 m	0.3-1	50-300 mm	<50 mm		
	Rating		30	25	20	10	5		
4	Condition of joints		Very rough surfaces Not continuous No separation Hard joint wall rock	Slightly rough Surfaces Separation < 1 mm Hard join wall rock	Slightly rough Surfaces Separation < 1 mm soft join wall rock	Slicken sided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Joints open 1-5 mm Continuous joints	Soft gouge > 5 mm thick or Joints open >5 mm Continuous joints		
	Rating		30	20	12	6	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m Tunnel length (l/min)	None	<10	10-25	25-125	>125		
		(Joint water pressure)/(major principal stress σ)	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		General Conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B.RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS									
Strike and Dip Orientations			Very Favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very Unfavorable		
Rating		Tunnels and Mines	0	-2	-5	-10	-12		
		Foundations	0	-2	-7	-15	-25		
		Slope	0	-2	-25	-50	-60		
C.ROCK MASS CLASSES DETREMINED FRON TOTAL RATINGS									
Rating			100-81	80-61	60-41	40-21	<21		
Class No			I	II	III	IV	V		
Description			Very good	Good rock	Fair rock	Poor Rock	Very poor rock		

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.3.2-2
RMR ROCK MASS RATING SYSTEM (AFTER BIENIAWSKI 1989)

D. MEANING OF ROCK CLASSES					
Class No	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	20 yr for 15 m span	1 yr for 10 m span	1 wk for 5 m span	10 hr for 2.5 m span	30 min for 1 m Span
Cohesion of rock mass (KPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Friction angle of rock mass (deg)	>45	35-45	25-35	15-25	<15
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATIONS OF DISCONTINUITY CONDITIONS					
Discontinuity Length (Persistence)	<1 m	1 m – 3 m	3 m – 10 m	10 m – 20 m	>20 m
Rating	6	4	2	1	0
Separation (aperture)	None	<0.1 mm	0.1 mm - 1.0 mm	1.0 mm – 5.0 mm	>5 mm
Rating	6	5	4	1	0
Roughness	Very rough	rough	Slightly rough	Smooth	Slickensides
Rating	6	5	3	1	0
Infilling (gouge)	None	Hard filling < 5 mm	Hard Filling > 5 mm	Soft Filling < 5 mm	Soft Filling > 5 mm
Rating	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately Weathered	Highly Weathered	Decomposed
Rating	6	5	3	1	0

F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING			
Strike perpendicular to tunnel axis		Strike parallel to tunnel axis	
Drive with dip – Dip 45 – 90°	Drive with dip – Dip 20 – 45°	Dip 45° - 90°	Dip 20° – 45°
Very favorable	favorable	Very unfavorable	Fair
Drive against dip – Dip 45 – 90°	Drive against dip – Dip 20 – 45°	Dip 0 - 20° - irrespective of strike	
Fair	Unfavorable	Fair	

Fuente: Bieniawski, 1976, 1989

De acuerdo a las condiciones de la roca, resultados de laboratorio y sondajes se tienen los siguientes valores

A (1) = 12
A (2) = 17
A (3) = 20
A (4) = 20
A (5) = 0
B = -7

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Entonces RMR = 62

Suelo de fundación (Roca sana)

RMR	=	62	Rock Mass Rating
γ	=	2,40 t/m^2	peso unitario
c	=	30,0 t/m^2	cohesión
ϕ	=	40°	ángulo de fricción interna
E_m	=	100000 kg/cm^2	módulo de elasticidad de la masa de roca
μ	=	0,25	módulo de Poisson

10.3.3. Diseño

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.

Dados los resultados de los ensayes de permeabilidad, el diagrama de sub-presiones por debajo del muro, producto de la infiltración de agua a través del suelo de fundación se ha considerado nulo en los presentes cálculos.

10.3.3.1. 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.

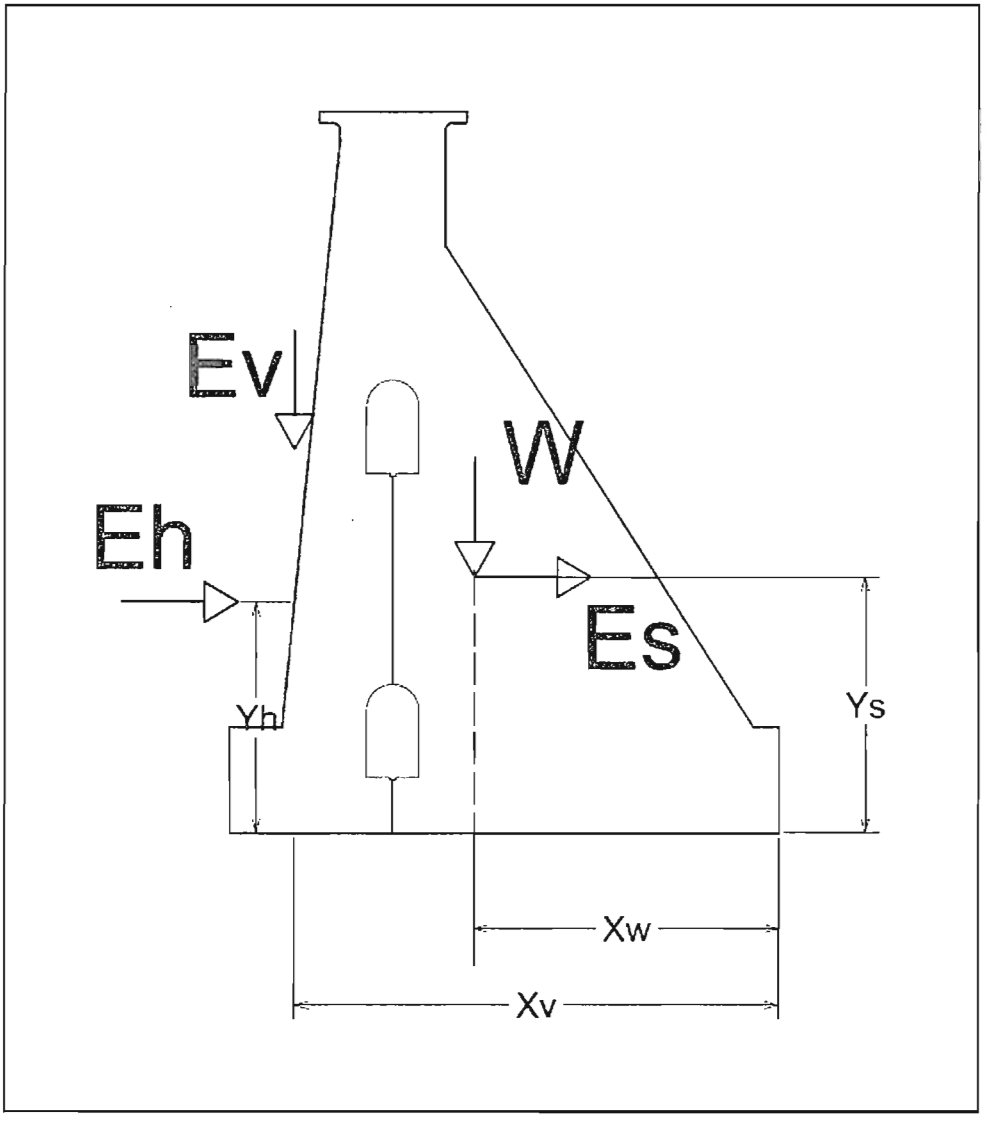
Reducido el análisis a un estado plano, la estabilidad exige la nulidad de las componentes verticales y horizontales de las cargas solicitantes, así como la suma de momentos respecto de un punto cualquiera del plano. En estricto rigor, este análisis se conduce en verificar que los factores de seguridad 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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

En la Figura 10.3.3.1-1, se muestra el detalle geométrico del muro, para su altura máxima, considerando las verificaciones antes indicadas y los parámetros geomecánicos de la roca.

FIGURA 10.3.3.1-1
DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA PRESA. CASO ESTÁTICO



Fuente: Elaboración propia.

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 10.3.3.1-1 siguiente entrega algunos valores para los coeficientes recomendados por distintos autores

CUADRO 10.3.3.1-1
COEFICIENTES SÍSMICOS DE DISEÑO

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 magnitud intermedia
	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: Recopilación de varios 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.

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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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

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 10.3.3.1-2 y Cuadro 10.3.3.1-3, se resumen los resultados de los análisis efectuados, para tres alternativas geométricas del muro.

CUADRO 10.3.3.1-2
RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MURO DESLIZAMIENTO

Capacidad	W (t)	E_s (t)	X_w (m)	Y_s (m)	E_h (t)	E_v (t)	X_v (m)	Y_h (m)	A (m^2)	T_1 Estático	T_2 Sísmico
Minima	778	156	12,91	9,56	262	71,71	21,31	9,63	22,9	463,81>E_h	673,92>E_h+E_s
Media	973	195	14,59	10,68	328	83,81	23,95	10,53	25,7	562,42>E_h	820,78>E_h+E_s
Máxima	1273	255	16,86	12,19	477	109,23	27,46	12,30	29,3	709,88>E_h	1041,42>E_h+E_s

Fuente: Geofun

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.3.3.1-3
RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MURO VUELCO

Capacidad	W	E_s	X_w	Y_s	E_h	E_v	X_v	Y_h	M_r (t·m)	M_v (t·m)	M_{vs} (t·m)	FS	FS
Minima	778	156	12,91	9,56	262	71,7	21,3	9,6	11572	2523,1	4014	4,6	2,88
Media	973	195	14,59	10,68	328	83,8	23,9	10,5	16203	3453,8	5536	4,7	2,93
Máxima	1273	255	16,86	12,19	477	109,2	27,4	12,3	24462	5867,1	8975	4,2	2,72

Fuente: Geofun

Capacidad de Soporte

La capacidad de soporte, se ha calculado con el método de Hansen (1970), obteniéndose conservadoramente la siguiente expresión para su evaluación:

$$q_{ad} = 753_{\Delta} \cdot \left(1 + 0{,}85 \cdot \frac{B}{L}\right) + 30 \cdot B_{\Delta} \cdot \left(1 - 0{,}4 \cdot \frac{B}{L}\right)$$

Por ejemplo, para la máxima capacidad, se tiene un largo medio del muro (L) de 70 m y un ancho medio (B) de 15 m se obtiene el siguiente valor para q_{ad}:

$$q_{ad} = 1{,}2301 \text{ t/m}^2$$

El empuje total de agua sobre el muro en el caso estático es 39375 t·m y el peso total del muro es 15.750 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 = 15.750 t

e = 39.375/15.750 = 2,5

L = 70 m

B = 15

σ_{max} = 18,21 t/m^2

En conclusión: $q_{ad} >> \sigma_{max}$

10.3.3.2. Red de Flujo al Interior de la Presa

Producto de la porosidad y saturación de la presa de hormigón en el largo plazo, aparecen en el cuerpo de la presa redes de flujo que disminuyen la resistencia del hormigón, más aun con este proceso acelerado producto de posibles grietas por construcción, juntas de construcción, defectos de ejecución, grietas de retracción, etc.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Para el control de estas redes de flujo, se adosan al paramento de aguas arriba del muro, drenes verticales, que reciban directamente la presión del agua y la drenen hacia galerías, que servirán adicionalmente para la inspección e instrumentación de la presa. La distancia máxima de estos drenes es de 3 m a eje y su diámetro suele estar entre 7,5 y 20 cm.

Los drenes pueden hacerse con un encofrado de tubo o perforándolos directamente. Durante cada fase de construcción de la presa, hay que tener especial cuidado en que los drenes parcialmente hechos no queden tapados.

Respecto de las galerías drenantes se ponen a distancias verticales de 15 a 30 m con una sección vertical de 2,5 m y un ancho de 1,80. En el diseño definitivo de la presa se debe prever la implementación de accesos a estas galerías.

10.3.4. Sistema de Instrumentación

El sistema de instrumentación recomendado, consta de 19 instrumentos que se detallan en el Cuadro 10.3.4-1. El objetivo de estas mediciones es determinar a tiempo la implementación de medidas correctoras.

CUADRO 10.3.4-1
INSTRUMENTACIÓN RECOMENDADA PRESA DE HORMIGÓN UMIRPA

Tipo de Instrumento	Cantidad	Objetivo
Termómetros	3	Medir temperatura
Puntas Vinchón PV	3	Medir desplazamientos
Monolitos de control topográfico	4	Medir desplazamientos verticales y horizontales
Acelerógrafos	1	Medir aceleraciones símicas
Piezómetros eléctricos estáticos	2	Medir la presión del agua
Piezómetro eléctrico dinámico	2	Medir la presión del agua por efecto de un sismo
Vertederos rectangulares	4	Medir caudales por filtraciones provenientes de los drenes, juntas y grietas

Fuente: Geofun a partir de literatura

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.

Las medición de la sub-presiones, así como de caudales, se compararán con los análisis teóricos de la redes de flujo, se definirán si se requiere inyecciones adicionales en el suelo de fundación de la presa, las que se realizarán desde la primera galería de inspección (la galería más cercana a la base del muro). Se realizará un control permanente de los caudales a través de las galerías y las salidas de las galerías (caudal total).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Los termómetros indicarán si el proceso de enfriamiento del hormigón sigue una evolución semejante a la esperada y adicionalmente servirán para confirmar la aparición de agrietamientos contenidos en planos verticales ubicados en medio de algunos bloques.

Se monitorearan los desplazamientos del coronamiento de la presa a través de controles topográficos. Uno en cada estribo y dos en el eje central del muro. Se verificará si las deformaciones por el empuje del agua están dentro de lo esperado, en el rango de un comportamiento elástico de la estructura. Se instrumentarán juntas de construcción para verificar la aparición de desplazamientos relativos.

10.3.4.1. Comportamiento de las Laderas del Embalse

Dado que las laderas del valle, en el área de inundación del embalse, están constituidas por formaciones rocosa muy sanas, con una sobrecarga granular de espesor variable, se recomienda monitorearlas desde antes del llenado del embalse y realizar un seguimiento durante el primer año, verificando a lo menos el estado de ellas producto de la inundación. Puntualmente, en sectores en que se aprecie inestabilidad de la sobrecarga en las laderas del vaso, se podrán tender los taludes a una pendiente máxima de 55° respecto de la horizontal, en esta unidad. Los cortes en roca inicialmente, se podrán considerar con una pendiente máxima de 85°.

10.3.4.2. Seguimiento de la Socavación del Cauce del Río

Se recomienda efectuar con periodicidad anual, controles para verificar alteraciones altimétricas medias en los taludes aguas abajo de la presa, transversales al cauce, situados aproximadamente a 1 km uno de otro (3 en total).

10.3.5. Cálculo de Filtraciones

10.3.5.1. Cálculo de Pérdidas Unitarias

A partir de los ensayes de permeabilidad efectuados, se puede señalar que las pérdidas de carga a través del suelo de fundación de la presa serán mínimas. Se estima que éstas podrían aumentar hacia las laderas, donde la roca presenta un mayor grado de fracturación, además que se evidencian algunas grietas, las que serán rellenadas a través de inyecciones o llenado.

Si se detectan filtraciones en el largo plazo, estas podrán ser corregidas desde la galería de inyecciones proyectada.

Estas hipótesis consideran una preparación adecuada de la roca superficial, limpiado y llenado de las grietas antes de fundar la estructura. Este proceso requiere usualmente el uso de aire y agua con la presión suficiente para romper y mover el material inadecuado, además de permitir una inspección detallada y mapeo del sitio de proyecto. Para roca fracturada, se requiere remover y limpiar una superficie no menor a tres veces el ancho

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

de la grieta y su posterior llenado. El hormigón utilizado deberá presentar una alta plasticidad con un tamaño máximo de partículas inferior a un tercio del ancho de la grieta.

Usualmente, se considera la implementación de zanjas para el control de las infiltraciones y las detonaciones si se requiere para su excavación, serán ejecutadas de manera controlada sin inducir grietas o pérdida de resistencia del macizo.

El U.S. Bureau Reclamation establece una profundidad mínima para el sellado de discontinuidades a nivel de sello de fundación de la presa:

$$d = 0{,}007b \cdot H + 1{,}5m$$

Donde:

d = profundidad de limpiado y sellado

b = ancho de la fractura

H = altura de agua sobre la fundación

10.3.6. Inyecciones

Si se requiere o se estima necesario, en los estribos del muro, se realizarán inyecciones para el llenado de las grietas detectadas en la visita realizada a terreno. 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 23 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 y desde la primera galería de inspección y drenaje si se requiere. La presión de ejecución disminuirá en la zona de contacto Hormigón-Roca, de modo de evitar el levantamiento de la roca, frente al muro.

De modo de llevar un control, la inyección se deberá ejecutar con un número GIN constante (Presión de inyección por volumen inyectado). La dosificación recomendada para la inyección es la indicada en el Cuadro 10.3.6-1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.3.6-1
LECHADA DE INYECCIÓN

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 especifico Teórico	1,575 gr./cm^3		
Viscosidad	32 a 36 seg.		
Decantación Max.	5%		
Resistencia a la compresión (Mpa)	20 (7días)	26 (14días)	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 al no haber llegado a los resultados esperados, siempre se puede completar el tratamiento de la roca con inyecciones adicionales.

10.3.7. Excavaciones y Recomendaciones de Construcción

Para la ejecución de las obras se dan las siguientes recomendaciones de construcción:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

1. Antes de la ejecución de los rellenos se realizará un escarpe general, con la finalidad de retirar la sobrecarga granular existente y la roca suelta o muy fracturada. La presa deberá quedar fundada en roca sana sin excepción.

2. El perfilamiento de la roca se realizará desde arriba hacia abajo, por motivos de seguridad. La construcción u hormigonado del muro, en algunos casos podrá servir de plataforma de trabajo para los trabajos en los taludes.

3. Todas las oquedades presentes en la roca, en el eje del muro, serán inyectadas con un hormigón fluido.

4. Las obras para el vertedero quedarán apoyadas en roca sin excepción, alternativamente, se apoyará el vertedero sobre la presa de hormigón compactado.

5. La pared interna casi vertical de la presa llevará un recubrimiento de hormigón con un contenido de cemento de 200 – 220 kg/m^3, de a lo menos 2,0 m de espesor. Similar hormigón se utilizará en la base de la presa en contacto con la roca, y en la pared externa, con excepción de la porción correspondiente al vertedero, cuyo hormigón será a lo menos de 320 kg de cemento por metro cúbico. El macizo de la presa será construido en su parte superior con un hormigón de 127,5 kg/m3 de cemento.

6. Las excavaciones en grava arenosa, tendrán una pendiente máxima de 55° respecto de la horizontal y serán regadas con abundante lechada a/c = 1/1.

7. En las paredes de las excavaciones reforzadas mecánicamente, se colocará una malla de acero de alta resistencia del tipo MFI 3.500 o similar con a lo menos 10 cm de shotcrete. La malla quedará anclada por sobre el coronamiento del talud, mediante una zanja de 30 cm de ancho por 30 cm de profundidad, rellena con hormigón.

8. La pendiente máxima de las excavaciones en roca sin reforzar será de 70° respecto de la horizontal en roca fracturada y de 85° respecto de la horizontal en roca sana, debiendo quedar protegidas superficialmente con una malla MFI 3500 o similar, anclada por sobre el coronamiento del corte y a sus pies.

9. Para el diseño definitivo de las obras, se requiere de una visita a terreno, y la participación de un especialista en hormigones para efectos de diseño de las distintas mezclas, juntas de construcción y retracción de la presa.

10. Las excavaciones para fundaciones en roca podrán ser efectuadas con taludes verticales.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

11. En el caso eventual de trazado de tuberías, se deberá efectuar una exploración mediante pozos de exploración de 1.50 m de profundidad, o hasta la napa o roca si se detectan a menor cota. Las calicatas, a lo menos 2, tendrán un distanciamiento máximo de 200 m una de otra.

12. El agotamiento de la napa, si se requiere, se realizará a través de zanjas de drenajes, con descarga a sumideros desde donde el agua será bombeada fuera el área de trabajo.

13. Cualquier sobreexcavación para fundaciones producto de la presencia de un suelo no apto para fundar, rellenos no controlados u otro motivo podrá ser rellenada con hormigón de 85 kg de cemento por metro cúbico de mezcla con hasta un 30% de bolón desplazador.

Finalmente, los sellos de fundaciones y/o excavaciones serán recibidos conforme por el mecánico de suelos, o la ITO de este proyecto.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.4. DISEÑOS HIDRÁULICOS DE OBRAS DE EVACUACIÓN DE CRECIDAS

A continuación se presentan los cálculos realizados para la definición de las dimensiones y características hidráulicas de cada una de las alternativas. En particular se obtendrán:

- Diseños hidráulico de Obras de Evacuación de Crecidas
- Diseño hidráulico de Obras Anexas

10.4.1. Revancha del Embalse Proyectado

10.4.1.1. Definición de la Revancha

La revancha es la diferencia de elevación entre el coronamiento del muro y el nivel de la cota umbral. En este tramo del muro se incluye el vertedero de seguridad que permite el desagüe de las crecidas.

La revancha se calcula como la suma de la revancha por oleaje, revancha por asentamiento, revancha por altura de descarga del vertedero para el caudal de diseño.

A continuación se presentan los cálculos para la estimación de cada una de las revanchas indicadas en el párrafo anterior.

10.4.1.2. 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. En este caso lo más apropiado es diseñar un vertedero frontal con cresta tipo Ogee, ya que el muro tipo RCC no presenta problemas para sostener la obra y las características morfológicas de la angostura dificultan la ejecución de obras en ambos estribos del embalse.

b) Metodología utilizada

Se utilizó la metodología incluida en la sección 189 del texto Diseño de Presas Pequeñas del USBR, para los cálculos hidráulicos.

c) Determinación del Largo L del Vertedero

El caudal de diseño del vertedero corresponde al asociado a la crecida de periodo de retorno de 500 años y es igual a 148 m^3/s.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se desea que este caudal tenga una altura de descarga cercana a los 2 metros, para ello 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:

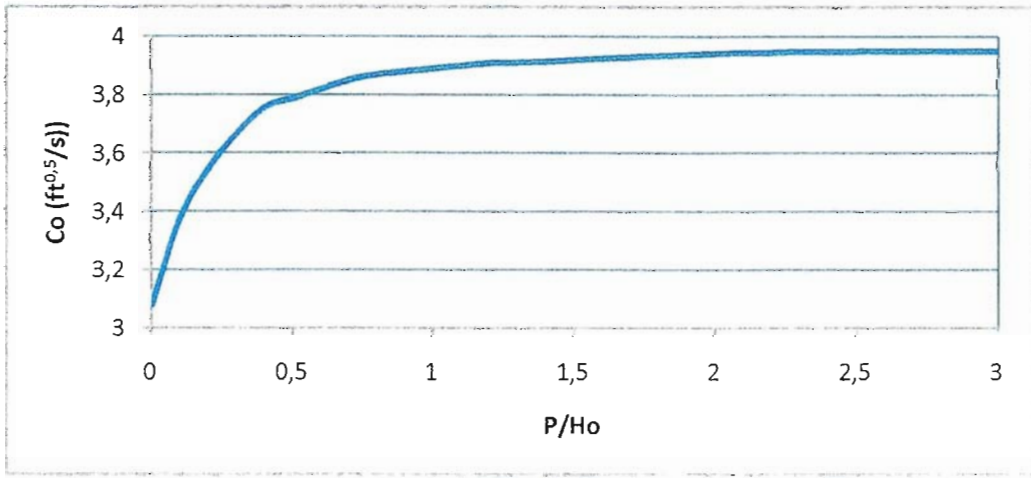
$$Q = Co \cdot L \cdot He^{3/2}$$

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 para un vertedero tipo Ogee según el USBR se obtiene de la curva indicada en la Figura 10.4.1.2-1. 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.

FIGURA 10.4.1.2-1
COEFICIENTE DE DESCARGA PARA LAS CRESTAS DE CIMACIO EN PARED VERTICAL



Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de este tanteo se presentan en el Cuadro 10.4.1.2-1. El valor de P representa la altura del paramento aguas arriba del vertedero.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.4.1.2-1
DETERMINACIÓN LARGO VERTEDERO

Q (m^3/s)	L (m)	P	P/Ho	Co ($pie^{0,5}/s$)	He (m)
148	20	25,1	11,1	3,95	2,26
148	25	25,1	12,9	3,95	1,95
148	**30**	**25,1**	**14,6**	**3,95**	**1,72**
148	40	25,1	17,6	3,95	1,42
148	45	25,1	19,09	3,95	1,32
148	50	25,1	20,48	3,95	1,23

Fuente: Elaboración Propia

Considerando que Ho representa la carga para el caudal de diseño, se eligió L = 30 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 3.4.1.2-1, 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	=	14,57	-
Co	=	2,188	($m^{0,5}/s$)
Ho'	=	1,72	(m)

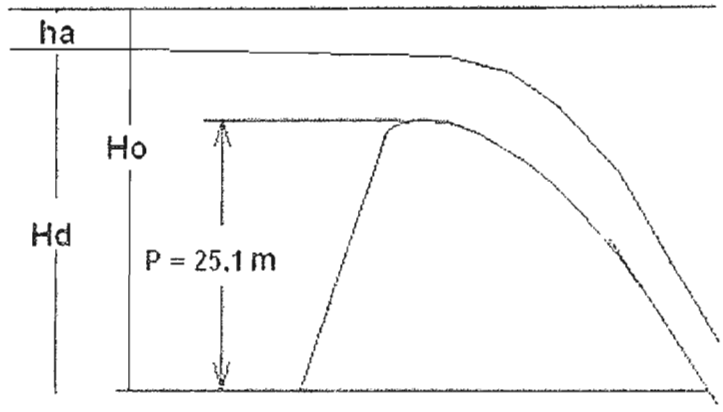
Se obtiene finalmente un coeficiente de descarga de 2,188 $m^{0,5}/s$, con una carga Ho de 1,72 m.

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 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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 10.4.1.2-2
ESQUEMA VERTEDERO



Fuente: Elaboración Propia

Se obtuvo una altura de escurrimiento de Hd igual a 1,718 m y una altura de velocidad ha de 0,002 m. Los cálculos se encuentran en el Anexo 10-2, Hoja "Vertedero Frontal".

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.

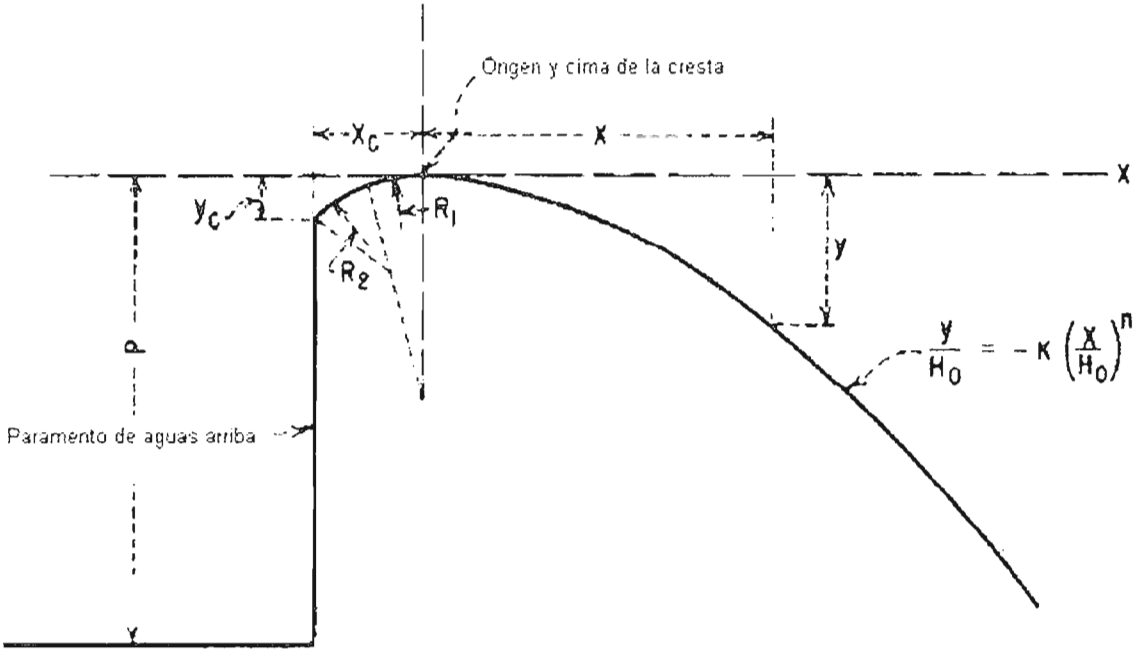
En este caso la relación es igual a uno, por lo tanto no se realizan cambios.

f) Determinación del Perfil Vertedero Ogee

El vertedero Ogee tiene la forma indicada en la Figura 10.4.1.2-3, y está definido por las ecuaciones que aparecen en la misma figura. Las ecuaciones determinan el talud aguas arriba y abajo de la cresta.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.4.1.2-3
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 10.4.1.2-2 se presentan los valores obtenidos de la Figura 187 del Bureau of Reclamation.

CUADRO 10.4.1.2-2
FACTORES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FORMA DEL VERTEDERO OGEE

Factor	Valor
Xc	0,42
Yc	0,16
R1	0,91
R2	0,25

Fuente: Elaboración Propia

La ecuación del perfil de aguas abajo es:

$$y = -0{,}3146 \cdot x^{1{,}851}$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

g) Verificación para Carga Asociada a Periodo de Retorno de 1.000 años

El caudal asociado a la crecida de 1.000 años es de 173 m³/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 10.4.1.2-3.

CUADRO 10.4.1.2-3
ALTURAS ASOCIADAS A CRECIDA DE VERIFICACIÓN

Altura	Valor (m)
Ho	1,91
Hd	1,9
ha	0,002

Fuente: Elaboración Propia

h) Corrección por Sumersión

No existe influencia sobre el vertedero de aguas abajo.

i) Resumen

En el Cuadro 10.4.1.2-4 se resumen los principales parámetros obtenidos para la crecida de diseño y verificación.

CUADRO 10.4.1.2-4
VALORES FINALES

Q	He	Hd	P	R1	R2	Xc	Yc
m³/s	M	m	m	m	m	m	m
148	1,72	1,72	25	0,913	0,249	0,42	0,16
173	1,91	1,90	25	0,913	0,249	0,423	0,16

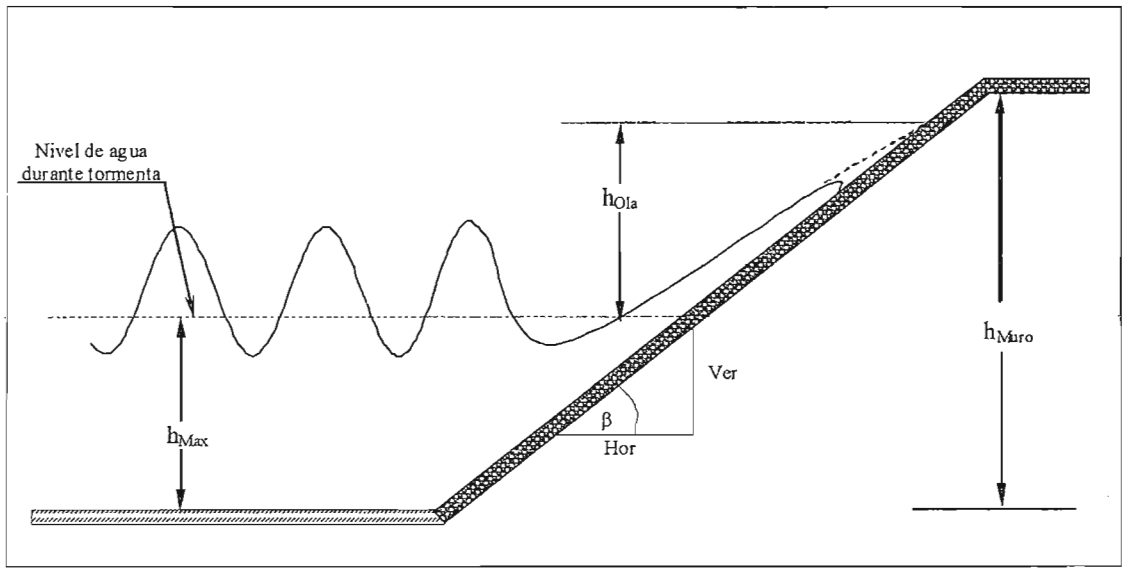
Fuente: Elaboración Propia

10.4.1.3. 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 10.4.1.3-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.4.1.3-1
REVANCHA POR OLEAJE



Fuente: Elaboración Propia

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

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 10.4.1.3-2. Cabe señalar que la superficie de inundación considerada para la estimación de la revancha por oleaje es para una altura de muro de 28 m.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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:

Di = Largo de línea "i", desde eje presa hasta ribera en millas

α_i = ángulo entre la línea "i" y la línea central o de diseño

F = Fetch Efectivo en millas.

En el Cuadro 10.4.1.3-1 se detallan los cálculos realizados para determinar el Fetch efectivo, considerando una situación de mayor superficie inundada, correspondiente a la cota de umbral.

CUADRO 10.4.1.3-1
DETERMINACIÓN DEL FETCH O LONGITUD DE ACCIÓN DEL VIENTO

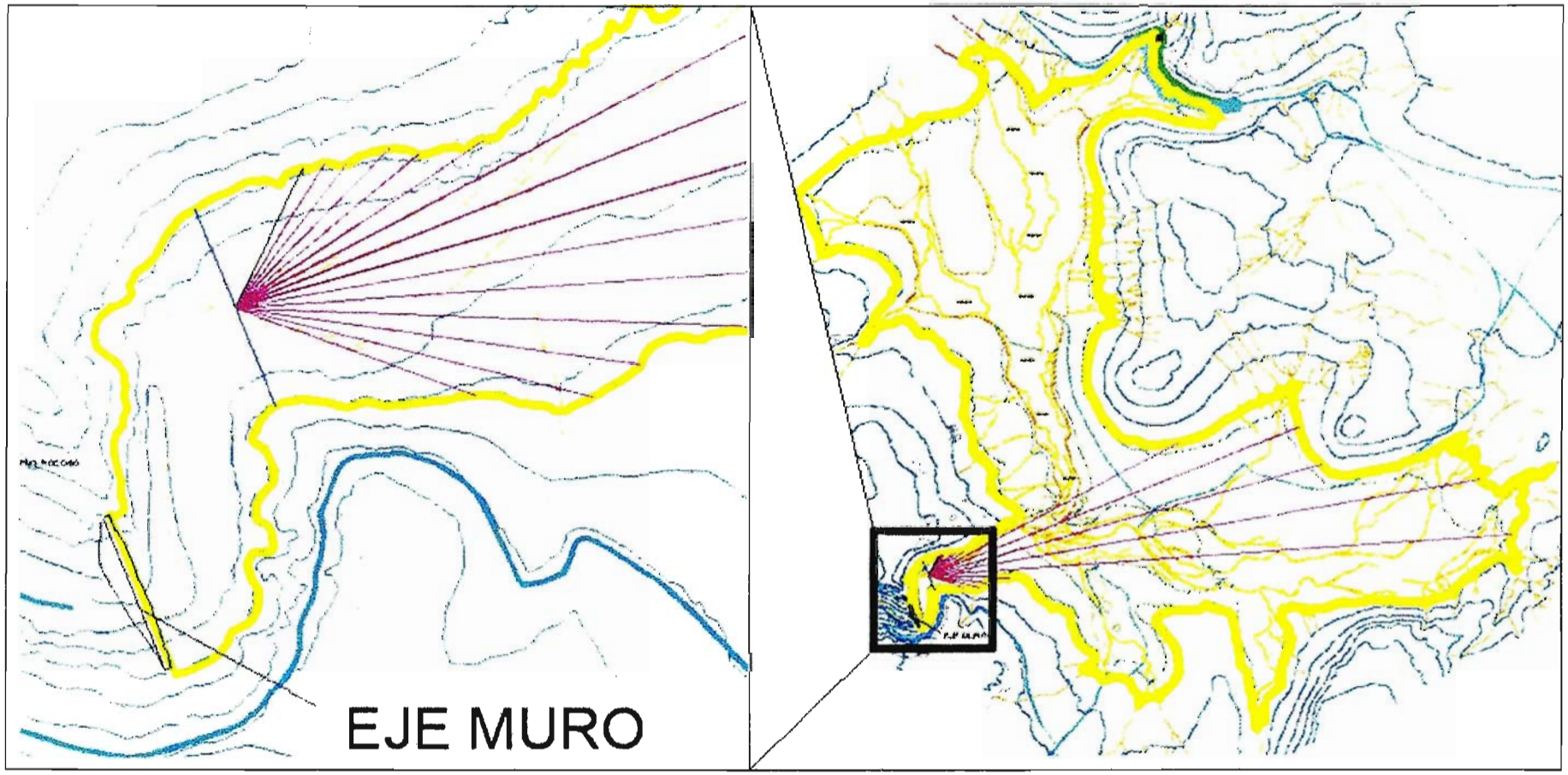
Línea N°	α°	Cos α	$Cos^2\alpha$	Distancia (d)		d $Cos^2\alpha$
				m	Millas	
1	42	0,7431	0,5523	121,6	0,0756	0,0417
2	36	0,8090	0,6545	175,5	0,1091	0,0714
3	30	0,8660	0,7500	194,9	0,1211	0,0908
4	24	0,9135	0,8346	270,3	0,1680	0,1402
5	18	0,9511	0,9045	1970,9	1,2246	1,1077
6	12	0,9781	0,9568	1839,8	1,1432	1,0938
7	6	0,9945	0,9891	1344,6	0,8355	0,8264
8	0	1,0000	1,0000	1314,5	0,8168	0,8168
9	6	0,9945	0,9891	939,4	0,5837	0,5773
10	12	0,9781	0,9568	143,1	0,0889	0,0851
11	18	0,9511	0,9045	113,7	0,0707	0,0639
12	24	0,9135	0,8346	105,3	0,0654	0,0546
13	30	0,8660	0,7500	86,5	0,0537	0,0403
14	36	0,8090	0,6545	81,4	0,0506	0,0331
15	42	0,7431	0,5523	73,3	0,0456	0,0252
	Suma	**13,5109**			Suma	**5,0682**

Fuente: Elaboración Propia

Aplicando la ecuación del Fetch efectivo, se obtuvo 0,375 millas (603,69 m).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.4.1.3-2
ESQUEMA DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS PARA CÁLCULO DE FETCH EFECTIVO



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

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 50 mph. Este valor está basado en las recomendaciones para la estimación de la revancha o borde libre mínimo del Bureau of Reclamation, en su publicación técnica Diseño de Presas Pequeñas.

Se consideran las expresiones empíricas presentadas en el Cuadro 10.4.1.3-2 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 10.4.1.3-2
EXPRESIONES EMPÍRICAS CÁLCULO ALTURA OLA

Autor	Ecuación	Expresión
Stevenson	Ec.4	$h_{Ola}=2,5+1,5\times\sqrt{F}-\sqrt[4]{F}$
Molitor	Ec.5	$h_{Ola}=2,5+0,17\sqrt{v\,F}-\sqrt[4]{F}$
Creager	Ec.6	$h_{Ola}=\frac{F^{0,37}\,v^{0,48}}{3,41}$
Bureau of Reclamation	Ec.7	$h_{Ola}=0,075\,(v-8,5)$

Fuente: Elaboración Propia

Aplicando las relaciones anteriores, se obtienen los resultados para la altura de ola presentados en el Cuadro 10.4.1.3-3

CUADRO 10.4.1.3-3
ALTURA DE OLA

Autor	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,64	0,8035
Molitor	2,45	0,7479
Creager	1,33	0,4066
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Fuente: Elaboración Propia

Se adopta el valor de altura máxima de ola, que corresponde al valor determinado por el método de Bureau of Reclamation, por lo tanto, la revancha por oleaje para el muro RCC es de 0,95 m.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.4.1.4. Revancha por Asentamiento del Muro y Fundación

Para presas tipo RCC el asentamiento permitido es mínimo debido a la rigidez de la estructura. El valor de la revancha por asentamiento es 0,01 m.

10.4.1.5. Revancha Total

La revancha total para el caudal de diseño se resume a continuación en el Cuadro 10.4.1.5-1, además se indica el valor adoptado.

CUADRO 10.4.1.5-1
RESUMEN DE REVANCHAS

Revancha	Valor (m)
Carga de Vertedero	1,72
Oleaje	0,95
Asentamiento	0,01
Total	2,68
Adoptado	2,7

Fuente: Elaboración Propia

La revancha adoptada (2,7 m) es suficientemente amplia para descargar el agua de la crecida asociada al periodo de retorno de 1.000 años (1,9 m), por lo tanto no se deben realizar cambios en la revancha.

10.4.1.6. Volumen de Coronamiento

Finalmente, la capacidad del embalse y su altura asociada se presenta en el Cuadro 10.4.1.6-1. Cabe señalar que, al considerar la capacidad máxima de almacenamiento, la altura del muro alcanza los 29,14 m, valor incluido en el rango de los embalses de categoría B.

CUADRO 10.4.1.6-1
VOLUMEN Y ALTURA DE CORONAMIENTO

Capacidades de Embalse	Volumen Coronamiento	
	(hm^3)	(h)
Mínima	11,20	21,09
Media	18,23	24,54
Máxima	30,40	29,14

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

10.4.2. Rápido de Descarga

10.4.2.1. Determinación del Talud de Aguas Abajo.

La pendiente (1,43 o 1:0,7 (H:V)) del rápido de descarga, desde el empalme con la cresta del vertedero Ogee hasta su final, es igual al talud aguas abajo del muro tipo RCC.

Matemáticamente, la forma del talud del rápido de descarga entre X=0 m y X= 1,32 m es igual a la Ecuación del Perfil de Aguas Abajo, luego la ecuación que define la geometría de la pendiente es la siguiente:

Para capacidad Máxima: $Y = 26{,}4 - 1{,}43 \cdot (X - 1{,}32)$

Para capacidad Media: $Y = 21{,}8 - 1{,}43 \cdot (X - 1{,}32)$

Para capacidad Mínima: $Y = 18{,}4 - 1{,}43 \cdot (X - 1{,}32)$

10.4.2.2. 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 "E.H Vert. Front. Max", "E.H Vert. Front. Medio" y "E.H Vert. Front. Min".

El diseño se hizo para el caudal de 148 m^3/s y se verificó para la crecida milenaria.

10.4.2.3. 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:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

$$E_1 = E_2 + \Delta f + \Delta S$$

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)
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 (m0,5/s)
Ai	=	área mojada en i (m2)
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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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 sobre el vertedero frontal.

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 10.4.2.3-1 se presentan los valores de la condición de borde, los cálculos se encuentran en el Anexo 10-2, Hojas "E.H Vert. Front. Max", "E.H Vert. Front. Medio" y "E.H Vert. Front. Min". En la Figura se muestra el eje hidráulico obtenido para la crecida de los 1.000 años.

CUADRO 10.4.2.3-1
VALORES DE CONDICIÓN DE BORDE

Parámetro	Valor
q ($m^3/s/m$)	4,9
hc (m)	1,35
v (m/s)	3,64
E (m)	2,03

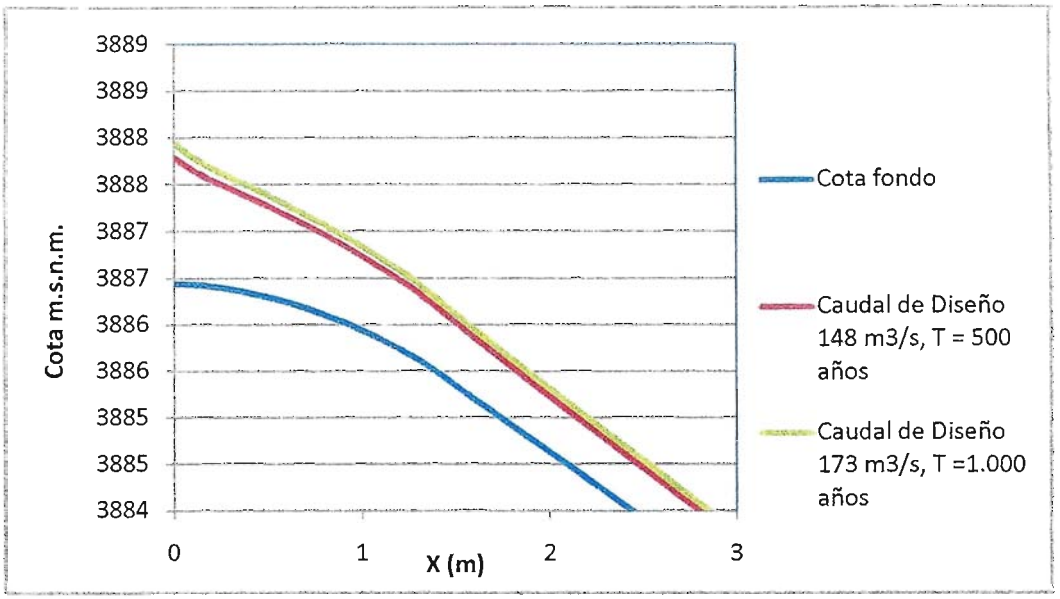
Fuente: Elaboración Propia

Los ejes hidráulicos de los caudales de interés (obtenido para el rápido de descarga asociado a la máxima capacidad) se presentan en la Figura 10.4.2.3-1 considerando la rugosidad de n=0,011. En el Cuadro 10.4.2.3-2 se presentan un resumen de

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

considerando la rugosidad de n=0,011. En el Cuadro 10.4.2.3-2 se presentan un resumen de los valores del Número de Froude Fr y la velocidad en el pie del rápido de descarga para cada una de las capacidades analizadas.

FIGURA 10.4.2.3-1
EJE HIDRÁULICOS EN RÁPIDO DE DESCARGA (n de Manning = 0,011)



Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 10.4.2.3-2
VALORES OBTENIDOS DE LOS CUATRO ESCENARIOS ANALIZADOS

Q (m^3/s)	n	Capacidad Máxima			Capacidad Media			Capacidad Mínima		
		Fr	v (m/s)	h final (m)	Fr	v (m/s)	h final (m)	Fr	v (m/s)	h final (m)
148	0,011	13,99	21,15	0,23	12,69	19,82	0,25	11,58	18,65	0,26
148	0,018	11,36	18,40	0,27	10,69	17,68	0,28	10,06	16,98	0,29
173	0,011	13,35	21,59	0,27	12,06	20,18	0,29	10,97	18,94	0,30
173	0,018	11,12	19,12	0,30	10,39	18,27	0,32	9,71	17,47	0,33

Fuente: Elaboración Propia

Los valores para los diferentes valores de la rugosidad no varían sustancialmente.

10.4.2.4. 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 σ_{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.

A partir de la ecuación se obtuvo las velocidades máximas para distintas capacidades del hormigón, las cuales se presentan en el Cuadro 10.4.2.4-1.

CUADRO 10.4.2.4-1
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, la velocidad alcanzada (21,15 m/s), con un n de 0,011, para la condición del caudal de diseño está por bajo 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 recomienda una buena calidad del hormigón en el último tramo del rápido de descarga para el diseño definitivo.

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:

$$C_a = 10 \cdot \sqrt{0{,}2 \cdot \frac{v^2}{g \cdot R_h} - 1}$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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 10.4.2.4-2 para el caudal de verificación.

CUADRO 10.4.2.4-2
EFECTO AIRE INCORPORADO EN EL FLUJO

Capacidad	Máx.	Media	Min.
h' (vmax) (m)	0,34	0,35	0,37
v'max (m/s)	21,10	19,68	18,61
Ca (%)	58,0	52,3	48,0

Fuente: Elaboración Propia

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.

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 ecuación Ec.21 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 (°)

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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El valor de σ resulta igual a 0,44 para la capacidad máxima por lo tanto no es necesaria la incorporación de aireadores.

10.4.2.5. 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 1.000 años.

La altura máxima obtenida del esponjamiento del flujo es de 0,37 m. Considerando una revancha de 0,6 m, se adopta una altura del muro de 1,0 m.

10.4.3. Disipador de Energía

10.4.3.1. 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 10.4.2.3-2.

10.4.3.2. 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,

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + 8 \cdot {Fr_1}^2} - 1 \right)$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Donde:

y_2 = altura conjugada aguas abajo del resalto

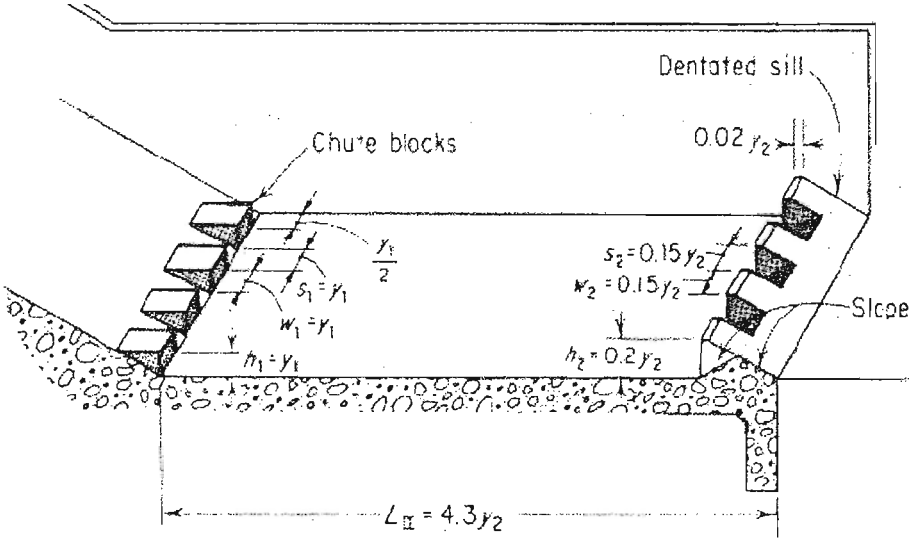
y_1 = altura de escurrimiento aguas arriba estanque

Fr_1 = N° de Froude aguas arriba del estanque

10.4.3.3. Determinación de las Dimensiones del Estanque Tipo III

La configuración del estanque tipo III del USBR se presentan en la Figura 10.4.3.3-1.

FIGURA 10.4.3.3-1
ESTANQUE TIPO III. USBR



Fuente: Elaboración Propia

Las dimensiones de los estanques para las distintas capacidades analizadas se presentan en el Cuadro 10.4.3.3-1. Los cálculos se presentan en el Anexo 10-2, Hojas "D. de Energía Max", "D. de Energía Medio" y "D. de Energía Min".

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.4.3.3-1
DIMENSIONES DEL ESTANQUE TIPO III

Parámetros inicio de Tanque	Capacidad		
	Max	Media	Min
y1=h1 (y1 altura conjugada) (m)	0,23	0,25	0,26
h1 adoptado (m)	1	1	1
w1 adoptado (ancho diente) (m)	1	1	1
N° w1 (uni)	15	15	15
b (ancho Tanque) (m)	30	30	30
s1 adoptado (ancho entre dientes) (m)	1	1	1
s1' (ancho entre diente y muro) (m)	0,5	0,5	0,5
N dientes (chute blocks) (un)	15	15	15
Parámetros fin de Tanque	**Capacidad**		
	Max	**Media**	**Min**
y2 (m) altura conjugada	4,5	4,3	4,2
1,05*y2	4,7	4,6	4,4
h3 (m) altura normal aguas abajo	2,8	2,8	2,8
Grada (altura extra en disipador para empalmar la altura y3 con h)	2	1,8	1,8
h3 + grada	4,8	4,6	4,6
h2 (altura diente fin de Tanque) (m)	0,9	0,9	0,8
LIII (largo Tanque) (m)	19,3	18,7	18,1
LIII adoptado (m)	20	19	18
w2 (ancho de dientes) (m)	0,67	0,65	0,63
w2 adoptado (m)	1	1	1
N° w2 (uni)	15	15	15
s2 (espacio entre dientes) (m)	0,67	0,65	0,63
s2 adoptado (m)	1	1	1
N° w2 (uni)	15	15	15
u = 0,02*y2 (ancho superior del diente) (m)	0,09	0,09	0,08
u adoptado (m)	0,20	0,20	0,20

Fuente: Elaboración Propia

La altura de escurrimiento aguas abajo del estanque (h_3) se obtuvo a partir del modelo HecRas generado para la estimación del gasto sólido de fondo, el cual se extendió aguas abajo del muro.

Los estanques se proyectan con unas gradas de 2 y 1,8 m (capacidad máxima y media o mínima, respectivamente) 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.

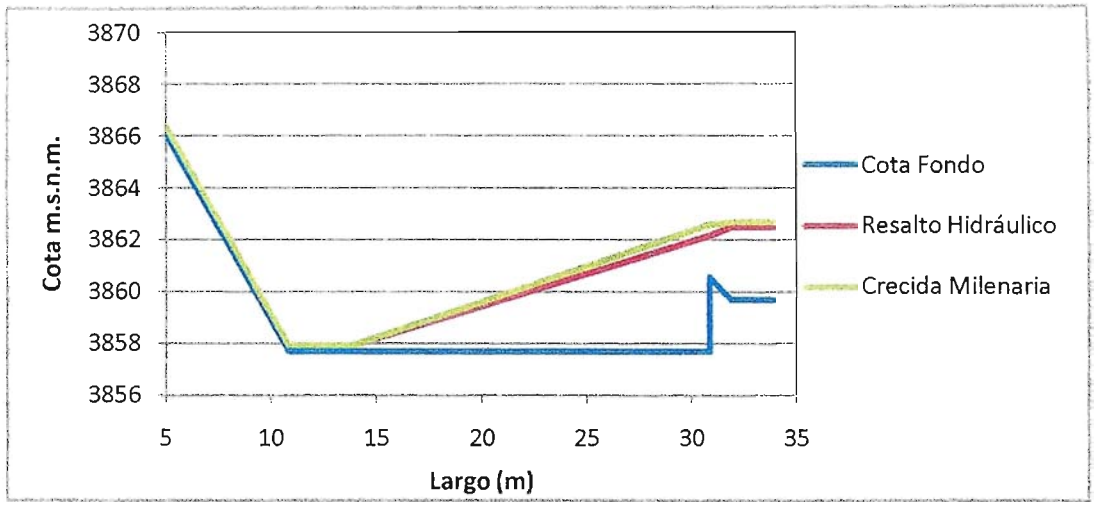
Se calculó también $h_{resguardo}$ (3 m) que se refiere a la diferencia entre la cota del lecho y la altura de escurrimiento aguas abajo del disipador, y H Total (5 m) que corresponde a la altura de los muros laterales de los disipadores, desde la cota de fondo de éste.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.4.3.4. Determinación Aproximada del Resalto Hidráulico

La longitud del resalto en estanques tipo III se obtiene dela Fig. 207 del texto de Diseño de Pequeñas Presas del USBR, con ello se genera un resalto aproximado en el estanque disipador.En la Figura 10.4.3.4-1 se presenta un esquema del resalto generado para la condición de capacidad máxima.

FIGURA 10.4.3.4-1
RESALTO EN ESTANQUE TIPO III. USBR



Fuente: Elaboración Propia

10.4.3.5. Verificación para Crecida de los 1.000 Años

Bajo las condiciones de un caudal de 173 m³/s el flujo cumple con:

- v max (m/s) > 18 m/s. Ok para los tres casos (Anexo 10-2, Hojas "E.H Vert. Front. Max", "E.H Vert. Front. Medio" y "E.H Vert. Front. Min")

- Nº de Froude > 4,5. Ok para los tres casos (Anexo 10-2, Hojas "E.H Vert. Front. Max", "E.H Vert. Front. Medio" y "E.H Vert. Front. Min")

- H escurrimiento a la salida > $1{,}05y_2$. Sólo se cumple para capacidad mínima, por lo tanto el disipador no funcionaría al 100% en las otras capacidades. Cabe destacar que las diferencias son menores a 20 cm, por lo que los efectos serían menores. (Anexo 10-2, Hojas "D. de Energía Max", "D. de Energía Medio" y "D. de Energía Min")

Por lo tanto, la altura de resguardono es sobrepasada por la crecida milenaria.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

10.4.3.6. Perfilamiento del Río

Los Disipadores de Energía Tipo están diseñados para escurrimientos con láminas de flujo paralelos, que simplifican las ecuaciones que definen el comportamiento del agua en este tipo de obras. En el caso de Umirpa, la posición del muro y la estrechez de la garganta entorpecen el desarrollo del resalto, ya que la chocar con los muros de la garganta las líneas del flujo comienzan a cruzar y a generar efectos poco controlados.

Es por esta razón que se ha proyectado un perfilamiento de unos 50 metros en la ribera Sur del río en el sector donde se emplazará la obra de disipación para evitar problemas hidráulicos. En el plano ALT-UM-01 se indica la zona a modificar.

10.5. DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS ANEXAS

10.5.1. Obras de Captación, Entrega y Desagüe

10.5.1.1. 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 y las dimensiones y cotas adoptadas a través del cálculo hidráulico respectivo, que se incluye en el Anexo 10-2, Hoja "Captación, Entrega y Desagüe".

10.5.1.2. Criterios de Diseño

Los criterios de diseño son los que se consignan a continuación, y en la Figura 10.5.1.2-1, se indica la configuración del sistema de captación y entrega:

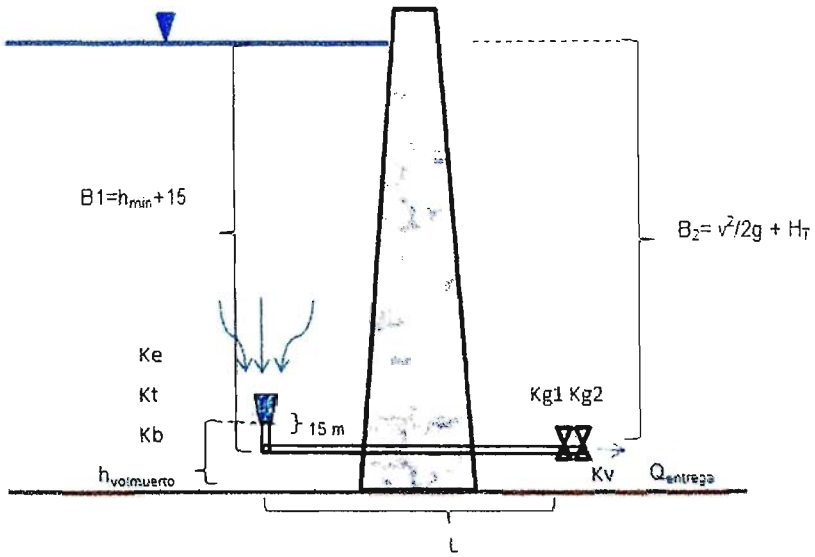
- El caudal de diseño es 0,3 m^3/s, el cual se obtuvo del modelo de simulación de la operación del embalse.

- 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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.5.1.2-1
SECCIÓN RÁPIDO DE DESCARGA



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.

10.5.1.3. Diámetro Mínimo Según Tipo de Presa

Para determinar el diámetro mínimo se realizó un balance de energía según la siguiente ecuación:

$$B_1 = B_2 + Ht$$

Donde:

B1 = Bernoulli en la cresta del vertedero de copa (m)

B2 = Bernoulli al final del túnel de descarga (m)

Ht = pérdidas en el sistema

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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/s2).

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=0,018)

Rh = radio hidráulico (m).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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, Entrega y Desagüe". El resultado del diámetro mínimo de la tubería de acero es de 14 pulgadas.

Se considera el diámetro de 14 pulgadas como el diámetro de diseño de la conducción, ya que permite entregar el caudal máximo para una cota de agua mínima.

Los valores de los coeficientes de pérdidas se presentan en el Cuadro 10.5.1.3-1 y en el Cuadro 10.5.1.3-2 se resumen las características de la tubería.

CUADRO 10.5.1.3-1
COEFICIENTES DE PÉRDIDA

Coeficiente	Valor
K_t	0,015
K_e	0,535
K_b	1,1
K_{g1}	1,5
K_v	1,0
C_Q	0,8

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

CUADRO 10.5.1.3-2
CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA PROYECTADA

Parámetro	Valor
Material	Acero
Diámetro interno (mm)	312
Diámetro externo (mm)	318
Largo (m)	65
espesor (mm)	3

Fuente: Elaboración Propia

10.5.2. Túnel de Desvío

10.5.2.1. Generalidades

Para la construcción de la presa, es necesario desviar las aguas del río Codpa a través de una obra de desvío. Para este efecto se proyecta un cajón que pasa por bajo el muro para la presa de RCC, para trasvasar las aguas del río aguas abajo de la presa. Las aguas se conducirán al túnel de desvío mediante una ataguía de material granular ubicada aguas arriba del sitio de la presa.

10.5.2.2. Criterios de Diseño

La crecida de diseño para la desviación del escurrimiento durante el período de construcción se debe asociar a un período de retorno de modo tal que el riesgo hidrológico no sea mayor al 10%.

La ecuación del riesgo hidrológico se define como:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Donde:

R = riesgo hidrológico que representa la probabilidad de que un evento suceda al menos una vez en n años

T = periodo de retorno (años)

n = número de años en los que se desea evaluar el riesgo (años)

La construcción de la presa se proyecta en dos años, es decir, el periodo de evaluación del riesgo es de n= 2 años.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Utilizando la ecuación anterior se obtiene un periodo de retorno de 19,49 años, se adoptó para el periodo de retorno 20 años y se calculó el riesgo hidrológico para ese nuevo periodo de retorno. Se obtuvo un riesgo R =0,098 ≈0,1, por lo que se consideró aceptable el periodo de retorno elegido.

Obtenido el periodo de retorno se conoce el caudal de diseño de las obras el cual es igual a 51,9 m^3/s.

Se considera que la conducción sea en acueducto, por lo tanto, se debe cumplir que la altura normal hn sea menor o igual al 70% de la altura total del túnel de desvío.

Se utilizó un coeficiente de rugosidad de 0,018 conservador para el hormigón y una pendiente de 0,006.

10.5.2.3. Determinación de las Dimensiones de la Obra de Desvío

Se tantearon las dimensiones del túnel para cumplir con $hn/D_{tun}=0,7$. Para un cajón de 4x4 se obtuvieron los resultados del Cuadro 10.5.2.3-1.

CUADRO 10.5.2.3-1
RESULTADOS PARA CAJÓN DE 4X4

Variable	Valor
Caudal de diseño Q (m^3/s)	51,9
Pendiente cajón i	0,006
Rugosidad del cajón n	0,018
Base del cajón b (m)	4,0
Altura Crítica hc (m)	2,58
Altura de escurrimiento hn (m)	2,74
Área mojada A (m^2)	10,95
Perímetro mojado P (m)	9,48
Radio Hidráulico, Rh (m)	1,16
Relación hn/D	0,68
Velocidad de Escurrimiento v (m/s)	4,74

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la altura normal es mayor que la altura crítica, lo que indica que el flujo es subcrítico. Los cálculos se presentan en el Anexo 10-2, Hoja "Túnel de Desvío".

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

10.6. DISEÑO SIMPLIFICADO DE OBRAS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

10.6.1. Criterio para Realizar Mejoramientos

Los criterios utilizados para realizar los mejoramientos en los canales son los siguientes:

- A partir del diagnóstico de los canales, se identificaron canales de tierra y de hormigón que deben ser mejorados. El canal será de preferencia de dimensiones 0,2 X 0,2 m. Si con dichas dimensiones el canal no tiene la capacidad de porteo suficiente, se aumentarán las dimensiones previa verificación.

- Si el canal no cuenta con la capacidad necesaria para transportar el caudal demandado, se modifica el tramo crítico. Lo mismo si el tramo es en tubería.

- Si el canal es cruzado por una quebrada lateral se proyecta una obra de cruce que lo proteja.

Además de los mejoramientos proyectados en los canales se ha realizado la prefactibilidad de la conducción Ofragía - Chaca definida en el escenario 3 del modelo de simulación.

10.6.2. Caudal de Diseño

Para obtener el caudal de diseño se procedió de la siguiente forma:

- Se recopilaron los caudales asociados a los derechos de agua de los canales existentes en el valle de Vítor (Q_{DA}).

- Se calculó el caudal de cada canal (QC), a partir del área bajo canal actual y el caudal de demanda y área de riego en el escenario con proyecto. El cálculo fue el siguiente.

$$Q_C = \frac{A_{BC}}{A_i} \cdot Q_{SMi}$$

Donde:

A_{BC} = área bajo canal

A_i = área total del sector de riego i

Q_{SMi} = caudal total del sector i obtenido a partir del modelo de simulación.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

- Finalmente se eligió como caudal de diseño (Q_d) el máximo entre los valores (Q_d=Max(Q_{DA},Q_C)). En el Cuadro 10.6.2-1 se muestran los caudales obtenidos para cada canal.

CUADRO 10.6.2-1
CAUDALES DE DISEÑO DE CANALES

N°	Sector	Nombre Comunidad	Q_{DA} (L/s)	Q_C (L/s)
1	Vila Vila	Vila Vila	30	23,81
2		Vila Vila Peñagrande	Sin Derechos	1,65
3	Achacagua	Achacagua 3	Sin Derechos	1,48
4		Achacagua Uno	60	3,58
5		Achacagua o Achacagua Dos	40	0,96
8		Achacagua o Achacagua Cinco	40	1,46
9	Molle Grande	Santa Rosa	Sin Derechos	1,96
10		San Pedro	40	2,14
11	Corralones	Chile Chico	Sin Derechos	0,46
12		Pedregal	Sin Derechos	0,16
13		Achacagua tres	30	0,42
14		Achacagua seis	30	2,43
14.1		Derivado 1 de Achacagua Seis	Sin Derechos	0,21
14.2		Derivado 2 de Achacagua Seis	Sin Derechos	0,25
15	Palca	Rosasani	30	0,25
16		Ciruelar	Sin Derechos	0,18
17		Achacagua o Rinconada	30	1,07
18		Tajavire	Sin Derechos	0,25
19		Palca	30	1,41
20		El Peral	Sin Derechos	0,04
21		El Peral 1	Sin Derechos	0,12
22		El Peral 2	Sin Derechos	0,14
23		Cala Cala	40	1,45
24	Chitita	Poroma Dos	40	1,77
25		Pucara1 o Pucara	40	1,11
25.1		Derivado Pucara	Sin Derechos	1,30
26		Chitita	40	2,60
27		Rancho	30	0,45
28		Chuca Chuca	40	2,83
29		Calapaja	30	0,06
30		Poroma	30	0,35
31		Miraflores	40	1,16
32		Tanguaya	40	0,56

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.6.2-1
CAUDALES DE DISEÑO DE CANALES

Nº	Sector	Nombre Comunidad	Q_{DA} (L/s)	Q_C (L/s)
33	Guañacagua	Sabayane Norte Uno	30	0,54
34		Sabayane Sur	20	1,91
36		Poroma Tres	40	1,72
37		Ancocollo	30	1,49
38		Pacayane	20	0,94
39		Guañacagua	40	2,07
40		Naranjane	40	5,21
40.1		Tejerane	Sin Derechos	1,58
41		Guancarane o Huancarane	40	5,01
42		Casicasco	40	3,64
43		Marquirabe	40	4,30
43.1		Talpillive o Talpiñibe	40	0,27
44		Poroma Cuatro	40	2,86
45		Isajima	40	4,03
46	Pueblo	Santisimo	40	1,55
47		Olivo Segundo Sector	30	2,78
48		Mal Paso Segundo Sector NE	30	0,00
49		Las Animas	40	2,86
50		Molinos	40	1,38
51		La Virgen Uno	40	4,51
52		Cachi Cachi	40	3,91
53		El Tapial - El Arenal Uno	40	2,49
55		La Falca	40	1,43
55.1		Peragonia o Perasane o Pacayane Sur	40	0,74
58	Cerro Blanco Ofragía	Calachoco Sur	Sin Derechos	0,55
59		Amasaca Chico	40	0,79
60		Unificación Amasaca Grande - Tapia	40	6,51
62		Unificación Viñanes - Santa Rosa Uno	40	2,35
63		La Virgen Dos	40	5,26
64		Quilli Quilli	40	0,20
66		Santa Rosa Dos	40	0,47
67	Chaca	Tres Oriente (Nr-1)	40	1,89
68		Dos Poniente (Nr-2)	40	12,02
69		Uno Poniente (Nr-3)	40	13,26
70		Dos Oriente (Nr-4)	40	9,16
71		Tres Poniente (Nr-5)	30	17,57
71.1		(Nr-5A)	Sin Derechos	11,09
71.2		(Nr-5B)	Sin Derechos	4,09
72		Cinco Poniente (Nr-6)	30	26,94
73		Cuatro Oriente (Nr-7)	25	10,59
74		Seis Poniente (Nr-8)	40	20,48

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Para la conducción Ofragía-Chaca proyectada en el escenario de simulación Nº 3, el caudal de diseño es de160 L/s y se realiza la verificación de presiones para un caudal mínimo de 30 L/s.

10.6.3. 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:

10.6.3.1. Diseño Hidráulico de los Canales

A continuación se indican los criterios para abordar los distintos aspectos geométricos e hidráulicos 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

10.6.3.2. 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:

R = 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)

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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 los tramos de canal se diseñaron 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.

Cabe destacar que las pendientes existentes en terreno son muy pronunciadas lo que genera escurrimientos supercríticos en forma natural. Para evitar este tipo de escurrimiento se necesita incluir escalones que aumentarían el costo de los canales. Se recomienda que, dada la baja magnitud de los caudales, se proyecte siguiendo las pendientes del terreno.

10.6.3.3. 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. Se utilizará una pendiente tal que el flujo sea subcrítico en la medida de lo posible.

10.6.3.4. 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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.6.3.5. Altura Crítica

Para garantizar que el flujo en un canal sea estable, es necesario garantizar que éste 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 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:

Bn = Bernoulli normal (m)

Bc = Bernoulli crítico (m)

h = Altura de escurrimiento (m)

v = Velocidad (m/s)

A pesar de lo anterior, se debe indicar que para obtener dicha condición de escurrimiento se debe generar cambios en las pendientes de los canales, lo que implica la profundización o peraltamiento de los perfiles.

10.6.3.6. 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.).

10.6.3.7. 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

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Canales Abiertos" de V.T. Chow, varía entre 0,017 y 0,030, con un valor de 0,030, lo que hace aconsejable considerar este último valor para verificación de la capacidad de un cauce revestido con este material.

- 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
P1 y n1	=	perímetro mojado y coeficiente de Manning del talud izquierdo
P2 y n2	=	perímetro mojado y coeficiente de Manning del radier
P3 y n3	=	perímetro mojado y coeficiente de Manning del talud derecho

10.6.3.8. 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, sin embargo, en este caso dichas revanchas duplicaría muchas veces la altura del canal por lo que no se considera relevante cumplir dicha recomendación.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.6.3.9. 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.

10.6.3.10. 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.

10.6.4. Capacidad Máxima de Canales Existentes

Se realizó la estimación de las capacidades máxima de porteo de cada canal, 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 propongan modificaciones a los canales que necesiten una mayor capacidad de porteo. Esto permitió además, saber si era necesario proyectar nuevos canales en el área de riego.

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, trazado y pendientes de cada tramo de canal, a partir del catastro y los trabajos topográficos realizados en la quebrada de Vítor por esta consultoría.
- Se utilizó la ecuación de Manning para determinar el máximo escurrimiento a superficie libre para cada tramo de canal. Los coeficientes de rugosidad utilizados se presentan en el cuadro 10.6.4-1. Los valores se obtuvieron del Cuadro 5-6 del libro "Hidráulica de los Canales Abiertos, Ven Te Chow".

CUADRO 10.6.4-1
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

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Para los tramos en tubería se calculó el máximo caudal para la situación de carga máxima, si este era mayor que el obtenido a partir de la ecuación de Manning se elegía como el representativo del tramo.
- Se determinó el tipo de escurrimiento a máxima velocidad discriminando entre régimen de torrente, régimen en río y en presión.
- Se definió el máximo caudal a transportar por tramo de canal, de acuerdo a la capacidad del tramo anterior.

Los cálculos y resultados se presentan en el Anexo 10-3, Hoja "CompQmax".

10.6.5. 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:

10.6.5.1. 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_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)

Δh_{fi} = Pérdida de carga fraccional en el tramo analizado de la tubería (m)

Δh_{si} = Pérdida de carga singular en el tramo analizado de la tubería (m)

Δ_{i-j} = Pérdida de carga total en el tramo analizado de la tubería (m)

10.6.5.2. 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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.6.5.3. Rugosidad Manning

El coeficiente de rugosidad depende de cada material de la tubería, tal como se muestra en el Cuadro 10.6.5.3-1.

CUADRO 10.6.5.3-1
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 10-4

10.6.5.4. 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:

hf = Pérdida de carga regular (m)

λ = 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:

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

D = Diámetro de tubería (m)

v_s = Velocidad del flujo (m/s)

μ = Viscosidad dinámica del fluido (kg/m/s)

ν = Viscosidad cinemática del fluido (m²/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, lo que se indica en el Cuadro 10.6.5.4-1.

CUADRO 10.6.5.4-1
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 10-4

Luego de calculados los resultados de ambas pérdidas se ha adoptado el menor de ellos, para obtener la menor pérdida de presión por fricción. Este caso considera que hay mayor presión en las tuberías siendo más conservador.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.6.5.5. 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 = constante que depende del tipo de singularidad

U = velocidad del flujo (m/s)

G = aceleración de gravedad (m/s^2)

Como el trazado de la tubería es aún preliminar para determinar aproximadamente estas pérdidas se ha establecido que en cada cambio de dirección existe una singularidad y esto produce una pérdida. El cálculo completo está disponible en el Anexo 10-4 de este informe.

10.6.6. Cálculos y Dimensiones de las Obras Proyectadas

En este acápite se presentan las dimensiones del sistema de conducción de las aguas del embalse.

10.6.6.1. Cálculos y Dimensiones de las Obras Proyectadas en Canales

Se propone reemplazar los tramos de canal en tierra a hormigón y se han proyectado las nuevas dimensiones en los tramos en que el estrechamiento de la sección impedía el paso del caudal necesario aguas abajo de la singularidad. Las mejoras propuestas se presentan en el Cuadro 10.6.6.1-1. Los cálculos y resultados se presentan en el Anexo 10-3, Hoja "Mejoras".

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.6.6.1-1
MEJORAMIENTOS PROYECTADOS EN CANALES EXISTENTES

Sector	Canal	Código	Largo (m)	Tramo (Km)		Capacidad (L/s)		Q necesario (L/s)	Mejoramiento a	Solución
				Inicio	Fin	Actual	Qd			
Vila Vila	Vila Vila	11100	46,5	0,00	0,047	164	40	30	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,3x0,35 (hxb)
Achacagua	Achacagua 3	23303	34	0,00	0,03	1780	62	1	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		24403	46	0,03	0,08	1780	62	1	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		25503	50	0,08	0,13	1780	62	1	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		26603	69	0,13	0,20	82	41	1	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		27703	75	0,20	0,27	68	26	1	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		28703	71	0,27	0,35	68	26	1	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		28803	33	0,35	0,38	68	26	1	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
	Achacagua Uno	23303	36	0,00	0,04	176	61	60	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,25x0,2 (hxb)
		24403	38	0,04	0,07	61	61	57	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,25x0,2 (hxb)
		35504	28	0,07	0,10	51	58	54	Falta Capacidad	Canal de Hormigón rectangular de 0,25x0,2 (hxb)
		60505	17	0,78	0,80	51	58	1	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
	Achacagua o Achacagua Dos	23303	8	0,00	0,01	46	41	40	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,3 (hxb)
		24303	33	0,01	0,04	46	41	39	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,3 (hxb)
		25403	94	0,04	0,14	22	41	33	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		26503	19	0,14	0,15	22	41	16	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		27603	33	0,15	0,19	22	41	13	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		28703	25	0,19	0,21	22	41	7	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		28803	13	0,21	0,23	18	41	2	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
	Achacagua o Achacagua Cinco	23303	216	0,00	0,22	46	55	40	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,3x0,4 (hxb)
		24403	70	0,22	0,29	32	36	10	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
Molle Grande	Santa Rosa	23303	15	0,00	0,02	115	37	2	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,25 (hxb)
	San Pedro	23303	33	0,00	0,03	64	42	40	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,25 (hxb)
		47605	8	0,21	0,21	46	37	25	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,25 (hxb)
		48705	57	0,21	0,27	46	36	24	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,25 (hxb)
		49705	13	0,27	0,28	46	36	20	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,25 (hxb)
		49805	17	0,28	0,30	46	36	19	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,25 (hxb)
		75507	17	0,43	0,45	46	36	36	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,25 (hxb)
Corralones	Chile Chico	23303	5	0,00	0,01	39	12	0.5	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		24403	30	0,01	0,04	27	12	0.5	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		46603	30	0,05	0,08	27	12	0.5	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		47703	35	0,08	0,12	27	12	0.5	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.6.6.1-1
MEJORAMIENTOS PROYECTADOS EN CANALES EXISTENTES

Sector	Canal	Código	Largo (m)	Tramo (Km)		Capacidad (L/s)		Q necesario (L/s)	Mejoramiento a	Solución
				Inicio	Fin	Actual	Qd			
		48803	7	0,12	0,13	27	12	0.5	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		49903	2	0,13	0,13	27	12	0.5	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		50003	24	0,13	0,15	27	12	0.5	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		51103	29	0,15	0,18	27	12	0.5	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		52203	30	0,18	0,21	27	12	0.5	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
	Achacagua tres	23303	24	0,00	0,02	79	31	30	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		24303	2,5	0,02	0,03	79	31	28	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		86505	11	0,09	0,10	41	31	22	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		108805	25	0,18	0,21	31	31	14	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		109905	45	0,21	0,25	31	31	12	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		111005	23	0,25	0,28	31	31	8	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		112005	7	0,28	0,28	31	31	6	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		112105	30	0,28	0,31	31	31	6	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		113105	9	0,31	0,32	31	31	3	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		114205	15	0,32	0,34	31	31	2	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		115305	13	0,34	0,35	31	31	1	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
Chitita	Calapaja	24302	43	0,04	0,09	25	25	23	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		25402	33	0,09	0,12	25	25	17	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
	Sabajane Norte	47703	37	0,30	0,33	34	34	3	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
Guañacagua	Guañacagua	40004	26	0,07	0,09	33	87	35	Falta Capacidad	Aumentar de tuberías de 180 mm a 250 mm
	Huacarane	27002	45	0,22	0,27	23	48	34	Falta Capacidad	Canal de Hormigón rectangular de de 0,3X0,3 a 0,3X0,5 (hxb)
	Casicasco	15302	26	0,58	0,60	21	30	23	Falta Capacidad	Aumentar sección aumentando la base de 0,3X0,35 a 0,3X0,45
Pueblo	Las Animas	12202	32	0,0	0,03	23	40	40	Falta Capacidad	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,4 a 0,3X0,6
		14502	23	0,36	0,38	16	30	22	Falta Capacidad	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,2 a 0,3X0,3
	El Molino	12202	28	0,0	0,028	15	43	40	Falta Capacidad	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,3 a 0,4X0,5
	La Virgen	36603	29	0,41	0,44	21	32	27	Falta Capacidad	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,3 a 0,3X0,4
	El Arenal o El Tapial	59102	37	0,149	0,186	18	32	30	Falta Capacidad	Aumentar sección aumentando de 0,3X0,3 a 0,3X0,45
Cerro Blanco-Ofragia	Unificación	23303	32	0,00	0,03	2493	52	40	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,3x0,35 (hxb)
		45505	1	0,08	0,08	76	44	37	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,3x0,35 (hxb)
		65607	24	0,12	0,14	52	44	36	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,3x0,35 (hxb)
		66607	28	0,14	0,17	52	44	35	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,3x0,35 (hxb)
		88809	74	0,19	0,27	39	44	33	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,3x0,35 (hxb)

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.6.6.1-1
MEJORAMIENTOS PROYECTADOS EN CANALES EXISTENTES

Sector	Canal	Código	Largo (m)	Tramo (Km)		Capacidad (L/s)		Q necesario (L/s)	Mejoramiento a	Solución
				Inicio	Fin	Actual	Qd			
		89809	18	0,27	0,29	35	44	31	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,3x0,35 (hxb)
		112011	235	0,30	0,54	35	44	29	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,3x0,35 (hxb)
		124212	48	0,66	0,71	21	44	17	Falta Capacidad	Canal de Hormigón rectangular de 0,3x0,3 (hxb)
		125212	279	0,71	0,99	12	40	15	Falta Capacidad	Canal de Hormigón rectangular de 0,3x0,2 (hxb)
		147413	12	0,99	1,00	8	31	5	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		148513	18	1,00	1,02	8	31	5	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
		169515	20	1,11	1,13	8	11	1	Tramo de Tierra	Canal de Hormigón rectangular de 0,2x0,2 (hxb)
Chaca	Nro Cuatro	30003	198	0,45	0,65	11	9	12	Falta Capacidad	Aumentar de tuberías de 110 mm a 180 mm

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Por otra parte, se han identificado en el estudio hidrológico, 33quebradas laterales en la parte alta del valle (sector de Codpa), de las cuales 30 podrían eventualmenteafectar el trazado de los canales con los cuales se cruzan.

Como solución se ha proyectado una obra tipo que consiste en un puente de hormigón que pasa sobre el canal protegiéndolo de los efectos del agua cuando baja por la quebrada. En el Cuadro 10.6.6.1-2 se presentan las longitudes de los cruces proyectados asociados a los canales que los atañen, y en la Figura 10.6.6.1-1, la ubicación de los puntos donde se proyectan los cruces de quebradas. En la Figura 10.6.6.1-2 se presenta un esquema de la obra tipo de cruce de canales.

CUADRO 10.6.6.1-2
CRUCES DE QUEBRADAS PROYECTADOS

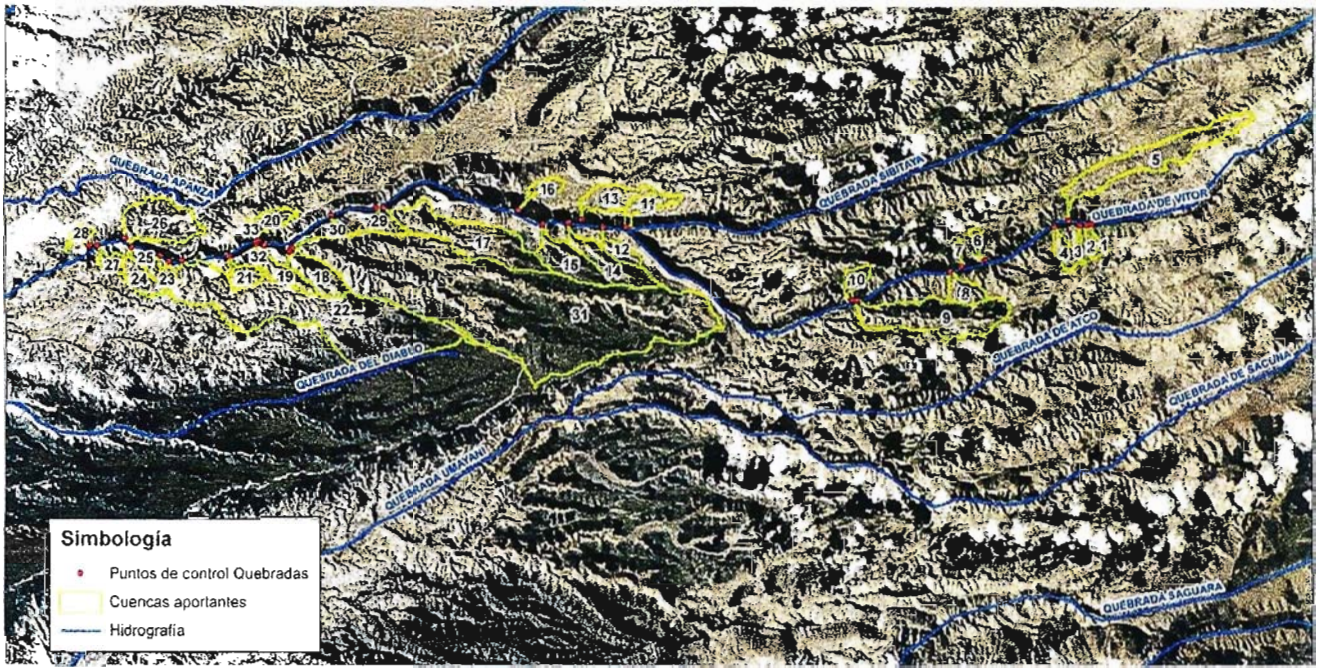
Nº	Acción	Longitud (m)	Canal
1	EXISTE	0,00	Vila Vila
2	EXISTE	0,00	Vila Vila
3	PROYECTAR	20,00	Vila Vila
4	PROYECTAR	15,00	Vila Vila
5	PROYECTAR	130,00	Vila Vila Peñagrande
6	PROYECTAR	70,00	Achacagua tres
7	PROYECTAR	25,00	Achacagua dos
8	PROYECTAR	30,00	Achacagua Uno
9	PROYECTAR	80,00	Santa Rosa
10	FIN DE CANAL	0,00	San Pedro
11	PROYECTAR	25,00	El Peral - 2
12	PROYECTAR	40,00	Cala Cala
13	PROYECTAR	10,00	Poroma 2
14	PROYECTAR	30,00	Chitita
15	PROYECTAR	20,00	Chuca Chuca
16	PROYECTAR	60,00	Miraflores
17	PROYECTAR	40,00	Naranjane, Marquirabe
18	NO NECESARIO	0,00	La Quebrada no cruza Canal
19	PROYECTAR	30,00	Cachi Cachi
20	NO NECESARIO	0,00	La Quebrada no cruza Canal
21	PROYECTAR	31,00	Cachi Cachi
22	PROYECTAR	50,00	Amasaca Grande Bajo-2
23	PROYECTAR	25,00	Amasaca Grande Bajo-2
24	PROYECTAR	30,00	Amasaca Grande Bajo-2
25	PROYECTAR	30,00	Amasaca Grande Bajo-2
26	PROYECTAR	40,00	Unificación Viñane
27	PROYECTAR	40,00	La Virgen 2

CUADRO 10.6.6.1-2
CRUCES DE QUEBRADAS PROYECTADOS

Nº	Acción	Longitud (m)	Canal
28	NO NECESARIO	0,00	La Quebrada no cruza Canal
29	PROYECTAR	40,00	Naranjane, Marquirabe
30	PROYECTAR	50,00	Isajima
31	PROYECTAR	30,00	El Molino
32	PROYECTAR	40,00	Cachi Cachi
33	PROYECTAR	50,00	La Virgen, Arenal Tapial
	Total	**1.081**	

Fuente: Elaboración propia

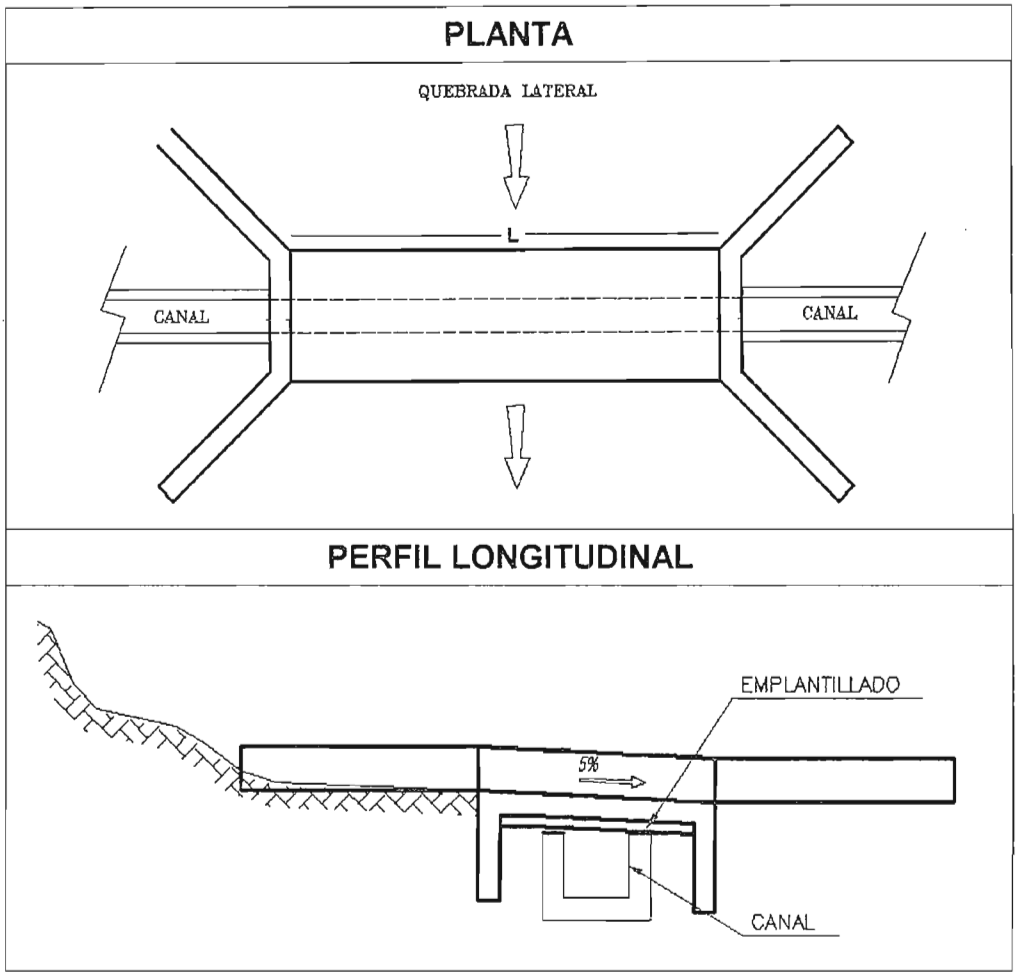
FIGURA 10.6.6.1-1
CRUCES DE QUEBRADAS CON EL RÍO VÍTOR



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.6.6.1-2
ESQUEMA CRUCES DE QUEBRADAS PROYECTADOS



Fuente: Elaboración propia

10.6.6.2. Cálculos y Dimensiones de las Obras Proyectadas en Tubería Ofragía-Chaca

- Tuberías

La tubería proyectada será de acero, ya que resulta la más conveniente, en términos de inversión, de acuerdo con el análisis de costos realizado.

El sistema contempla 12 tramos, en los cuales existe una cámara de carga en el inicio y una cámara de válvulas al final. Durante su desarrollo se ubican cada 1.000 m cámaras de ventosa. En el Cuadro 10.6.6.2-1 se presentan los tramos de la conducción.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.6.6.2-1
TRAMOS CONDUCCIÓN OFRAGÍA – CHACA

Tramo	Longitud (m)
1	2,50
2	2,02
3	2,37
4	2,90
5	3,38
6	5,42
7	5,70
8	7,50
9	5,79
10	4,11
11	5,50
12	3,59
Total	50,79

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de obtener una curva de costos, se recalculó la conducción en presión para distintos diámetros comerciales (entre 10 y 18 pulgadas). El caudal de diseño (Q = 160 L/s) fue el obtenido por el modelo de simulación.

Como conclusiones de los cálculos se puede indicar que para diámetros menores a las 12 pulgadas, la tubería deja de estar en presión en todo su desarrollo. La velocidad del flujo con diámetro de 10 pulgadas alcanza los 3,1 m/s, mientras que para un diámetro 12 pulgadas de 2,1 m/s. En el Cuadro 10.6.6.2-2 se presentan las dimensiones de cada una de las alternativas analizadas, y en la Figura 10.6.6.2-1, el trazado en planta de la conducción.

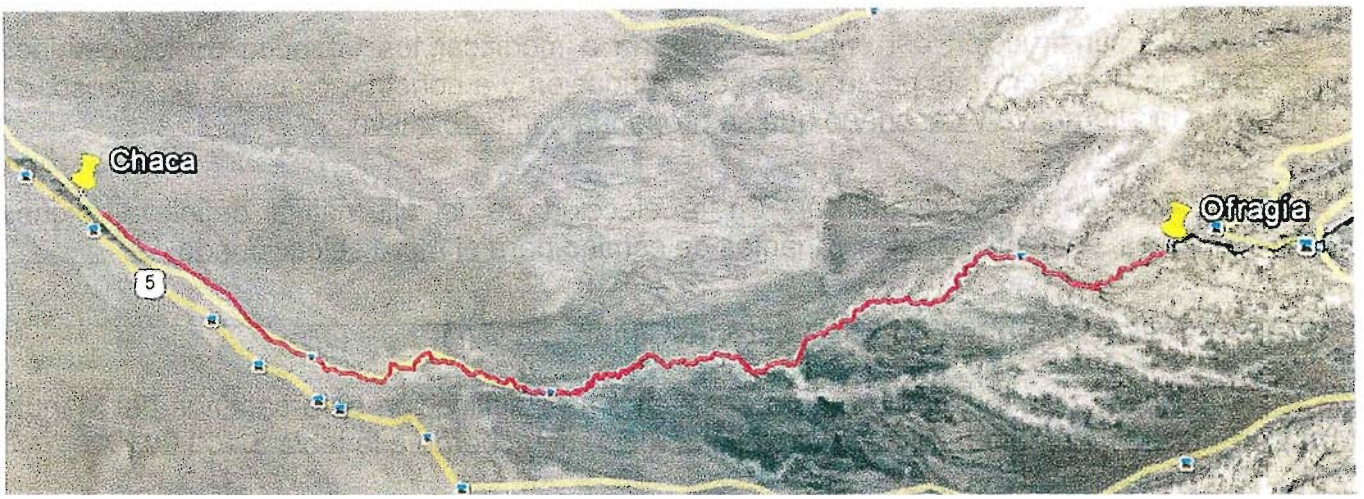
CUADRO 10.6.6.2-2
TRAMOS CONDUCCIÓN OFRAGÍA – CHACA

Alternativa	Diámetro		Largo (m)
	(pulgada)	(mm)	
TubA. De=MinPosible	10	261	2373
	12	318	48414
TubA. De=318, 12 pulg.xlsx	12	318	50787
TubA. De=355.6, 14 pulg	14	355	50787
TubA. De=406.4, 16 pulg	16	406.4	50787
TubA. De=457.2, 18 pulg	18	457.2	50787

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.6.6.2-1
TRAZADO DE TUBERÍA PROYECTADA



Fuente: Elaboración propia en base Imagen Google Earth

- Cámaras y Piezas Especiales

Como el diseño hidráulico contempla tuberías en presión, se necesitan cámaras y piezas especiales que ayuden a controlar los eventos que ocurren en este tipo de conducciones, tal como se muestra en el Cuadro 10.6.6.2-3.

CUADRO 10.6.6.2-3
CANTIDAD DE CÁMARAS PROYECTADAS

Alternativa	Cámara		
	de Carga	Ventosa	Válvula
TubA. De=MinPosible	1	2	1
	11	43	11
TubA. De=318, 12 pulg.xlsx	12	45	12
TubA. De=355.6, 14 pulg	12	45	12
TubA. De=406.4, 16 pulg	12	45	12
TubA. De=457.2, 18 pulg	12	45	12

Fuente: Elaboración propia

Cada una de estas cámaras contempla piezas especiales como; válvulas de mariposa, juntas autobloqueantes, ventosas, válvulas de compuertas las cuales dependen del tipo de diámetro y material de la tubería. La totalidad de estas piezas se puede ver en el Anexo 10-4.

10.7. DISEÑO OBRAS COMPLEMENTARIAS

10.7.1. 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, de acuerdo a la alternativa y escenario que se proponga como definitivo.

Con el fin de cuantificar, en la elección de la alternativa definitiva, dichas modificaciones, se ha trazado las variantes de camino para el muro seleccionado.

10.7.2. Descripción del Anteproyecto de Camino

En los diseños, se consideró 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 camino considerado clasifica en la categoría de Desarrollo lo que permite velocidades de entre 30 y 50 km/h en el proyecto, de acuerdo con el Cuadro 10.7.2-1.

CUADRO 10.7.2-1
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

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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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 13%.

10.7.2.1. 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 10.7.2.1-1

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 4,0 m y taludes de corte y terraplén de 1/1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.7.2.1-1
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
Visib.	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
Planta	Radio Mínimo en Curva	Rm (m)	25	50	80	120	180	250	330	425	540	700	900	3.203.302
Planta	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)
Planta	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)
Planta	Peralte Máximo	P (%)	7	7	7	7	7	7/8	8	8	8	8	7	3.203.302
Planta	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)
Planta	Desarrollo Mín. ω = 9° y Rm	D (m)	-	7	12	17	26	35	47	60	76	100	130	3.203.303 (4)
Planta	Radio lím. Contra Peralte (3)	RL (m)	-	-	-	> 3500			> 7500					3.203.303 (3)
Planta	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)
Planta	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
Alzado	Curva Vertical Convexa (V*=Vp)	Kv (m)	300	400	700	1200	1800	300	4700	6850	9850	14000	16000	3.204.301 (1)
Alzado	Curva Vertical Cóncava (Vp)	Kc (m)	400	600	1000	1400	1900	2600	3400	4200	5200	6300	6300	3.204.301 (2)
Alzado	Curva Vertical Cóncava (Ilum. Artif.)	Kci (m)	250	400	650	950	1300	1700	2100	2600	3200	3700	3700	3.204.301 (3)
Alzado	C. Vertical Convexa x. Adelant. (6)	Ka (m)	3500	6300	9800	14900	21000	27200	33900	39100	45900	-	-	3.204.405
Alzado	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 Δ 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 Δmáx. 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

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.7.2.2. 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.

10.7.3. Trazados de Variantes de Caminos

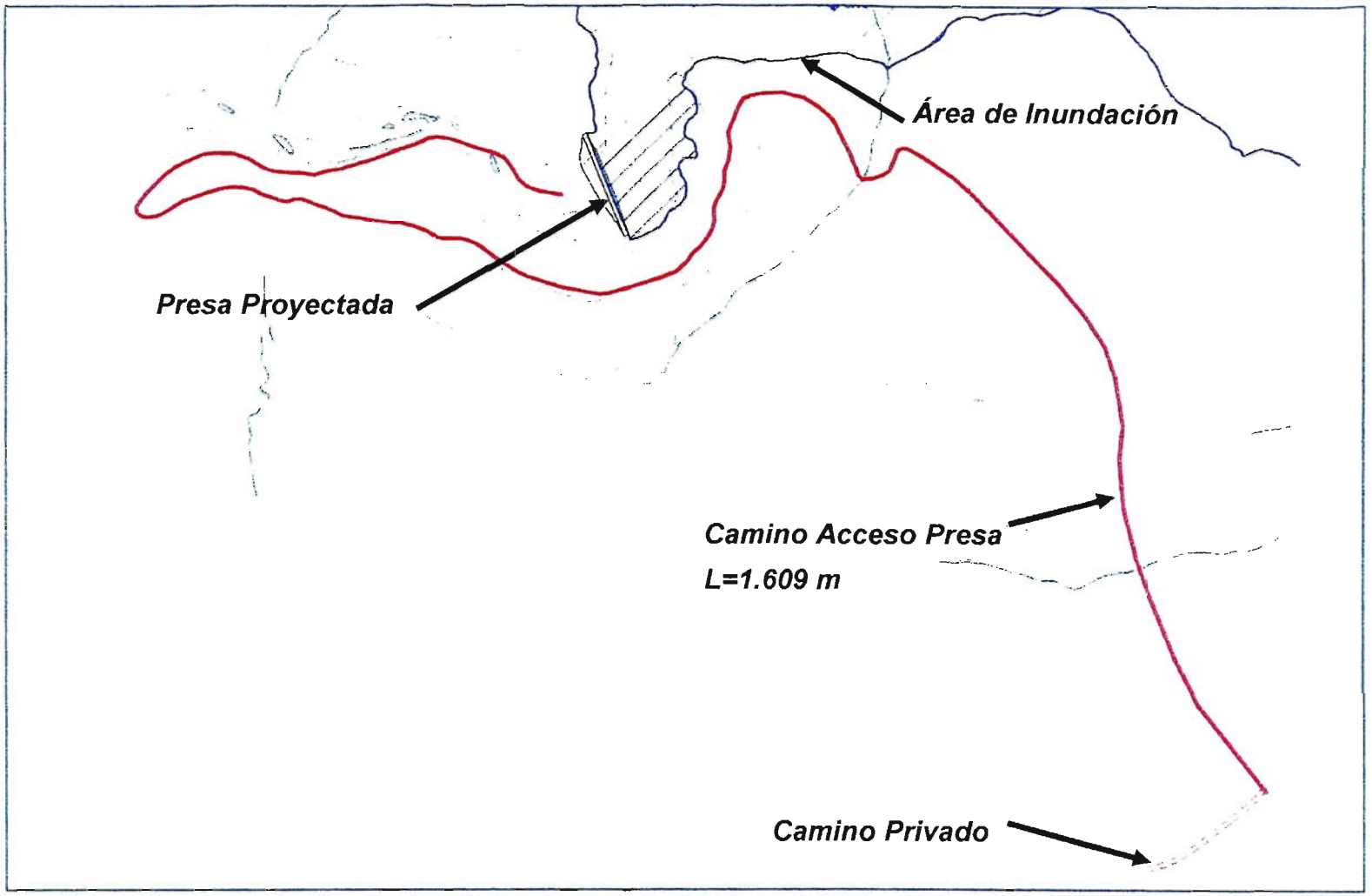
A continuación se indican las variantes proyectadas de los caminos existentes en la zona de embalse.

Se ha realizado una variante de 512 m de largo para la reposición de la ruta regional primaria A-319, que quedaría sumergida por las aguas. Además se ha elaborado un trazado de 1.609 m para el camino de acceso a la presa desde un camino privado presente en el sector. Los nuevos trazados se presentan en la Figura 10.7.3-1 y 10.7.3-1.

Cabe destacar que la variante de camino se debe realizar sólo cuando la altura de coronamiento del muro sea mayor a los 19 metros (cota 3.879 m.s.n.m.).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

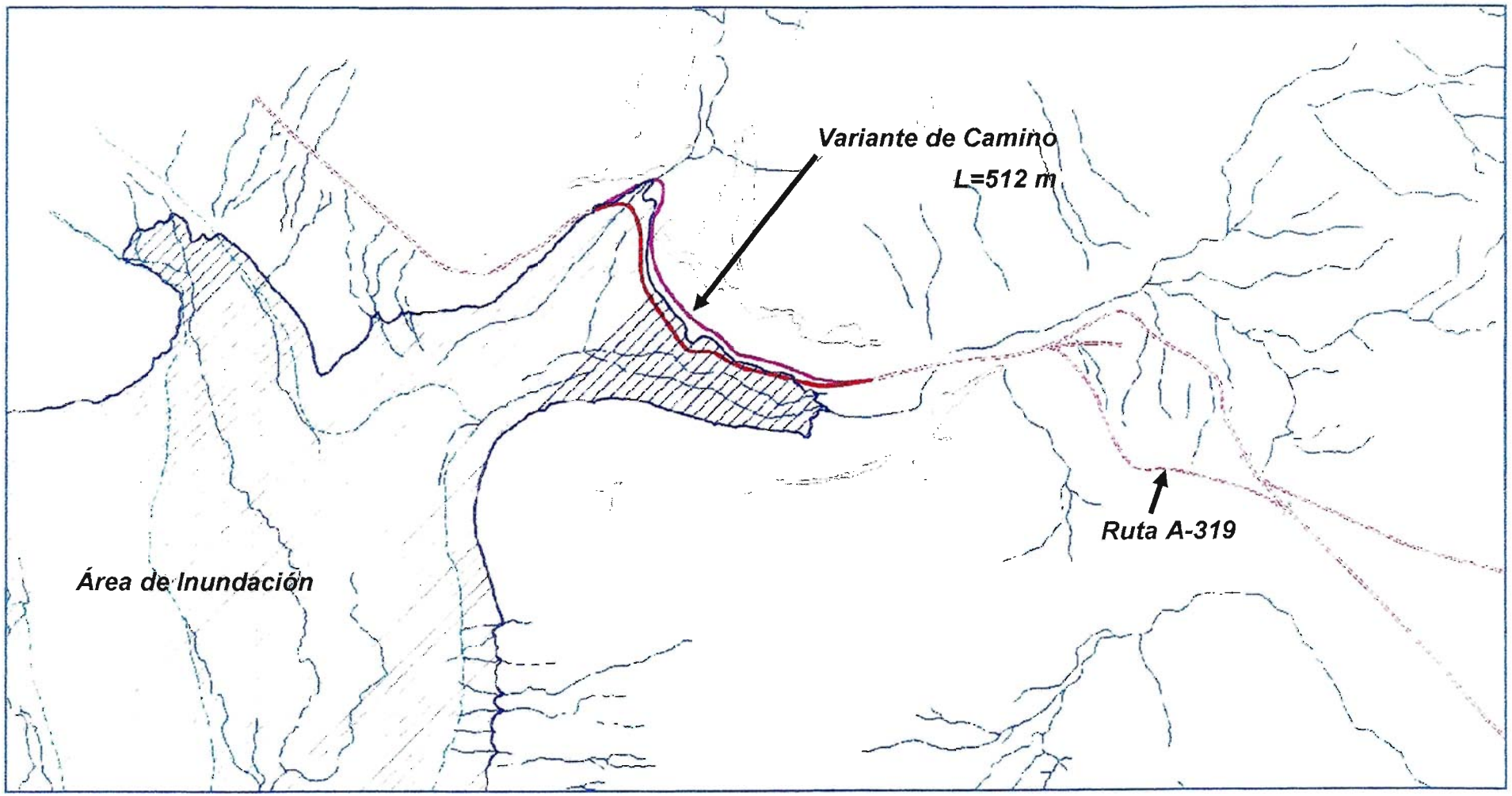
FIGURA 10.7.3-1
NUEVO TRAZADO Y VARIANTE DE CAMINO



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.7.3-2
NUEVO TRAZADO Y VARIANTE DE CAMINO



Fuente: Elaboración propia.

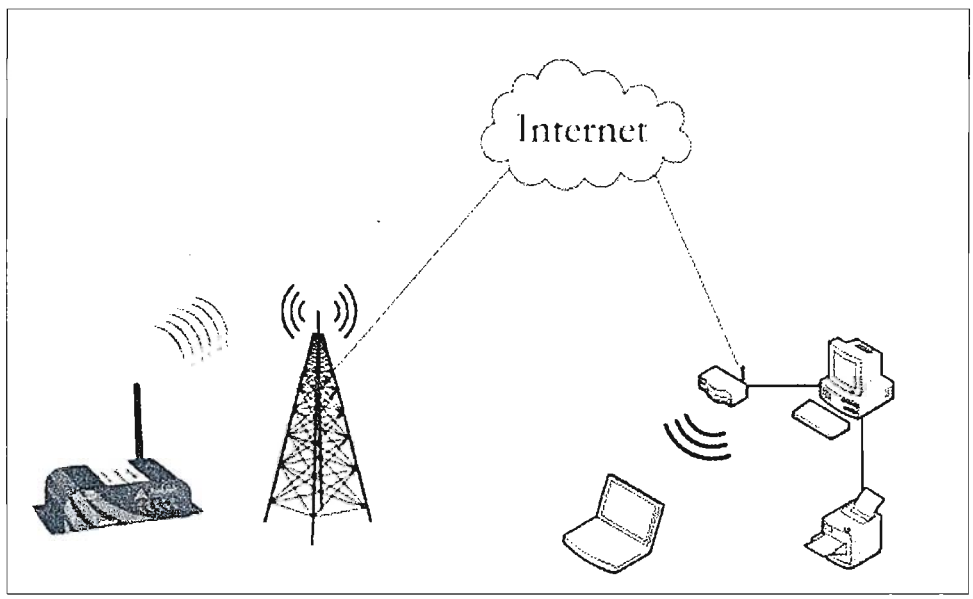
10.8. ANTEPROYECTO SISTEMA DE CONTROL DE CAUDALES

10.8.1. Introducción

La incorporación de un embalse regulador, en la cuenca de la quebrada de Vítor, obliga a que existan cambios que permitan el buen funcionamiento en el sistema de riego.

Entre los cambios más importantes se tiene la inclusión de un sistema de control que regule el caudal entregado a cada canal del valle. Para ello, inicialmente se propuso que en cada punto de control existiera una sonda hidrostática que permitiera medir el nivel de agua existente y una plataforma satelital de comunicaciones que transmitiera en tiempo real a una estación receptora satelital de radio celular, tal como se indica en el esquema de la Figura 10.8.1-1. Sin embargo, la señal de telefonía celular tiene cobertura solamente en un pequeño radio alrededor del pueblo de Codpa, por lo tanto, sería necesario la instalación de antenas repetidoras a lo largo del valle debido a la estrechez y sinuosidad de la quebrada de Vítor.

FIGURA 10.8.1-1
ESQUEMA CONEXIÓN ENTRE ESTACIONES Y COMPUTADOR CENTRAL



A partir de lo anterior se propone que el manejo y operación de los canales sea realizado y regulado por un grupo de operadores o celadores que manejen la entrega de caudales. Para ello se propone un sistema de control en base a una estructura simple de construir y operar, como es el caso de la compuerta plana en donde el caudal se controla en función de la abertura de la compuerta. Aguas abajo de esta obra se construirá el sistema de control.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.8.2. Puntos de Control y Aforo

10.8.2.1. Ubicación de los Puntos de Control

Los puntos de control se ubicarán al inicio de cada canal considerado en el estudio y se realizará mediante una obra tipo que se indica en el acápite de siguiente. Estas permitirán aforar el caudal entregado a cada canal.

10.8.2.2. Diseño de Obra Tipo para Control de caudales

a) Introducción

Con el fin de conocer el caudal que se entrega a cada canal de regadío, se propone el diseño de una obra de control tipo (igual para todos), de modo de facilitar su construcción y reducir costos.

La obra de control consistirá en una bocatoma (para tomar agua desde el río), una cámara (la cual mantendrá el nivel del agua), dos compuertas manuales (una que permitirá el paso del agua hacia el canal y la otra que permita el desagüe de la cámara) y un vertedero que devolverá los excedentes de agua hacia el río.

b) Metodología de Diseño

La Figura 10.8.2.2-1 muestra un esquema de una compuerta plana vertical cuya abertura es "a" y entrega un caudal "Q". En este caso el escurrimiento es guiado por el fondo y las paredes laterales del canal, a diferencia de la descarga de un orificio con el chorrosometido a presión atmosférica por todo su contorno. El flujo bajo la compuerta queda sometido a una presión que varía hidrostáticamente según la vertical. El flujo a través de la compuerta puede considerarse irrotacional y las características de velocidad y presión en un punto cualquiera del escurrimiento puede determinarse muy exactamente con la red de flujo bidimensional en un canal suficientemente ancho. Las líneas de corrientes están fuertemente curvadas en la proximidaddel orificio de la compuerta. Las secciones (1) y (2), agua arriba y aguas abajo de la compuerta, con líneasde corrientes paralelas (rige la ley hidrostática), se sitúan entre 3 y 4 h_1 y 2a, respectivamente. Puedeconsiderarse que la energía específica (Bernoullí) se conserva en la masa de agua que escurre a través de la compuerta y en especial entre las secciones (1) y (2). Aplicando la conservación de masa y la igualdad de Bernoullí se obtiene:

$$h_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} = h_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

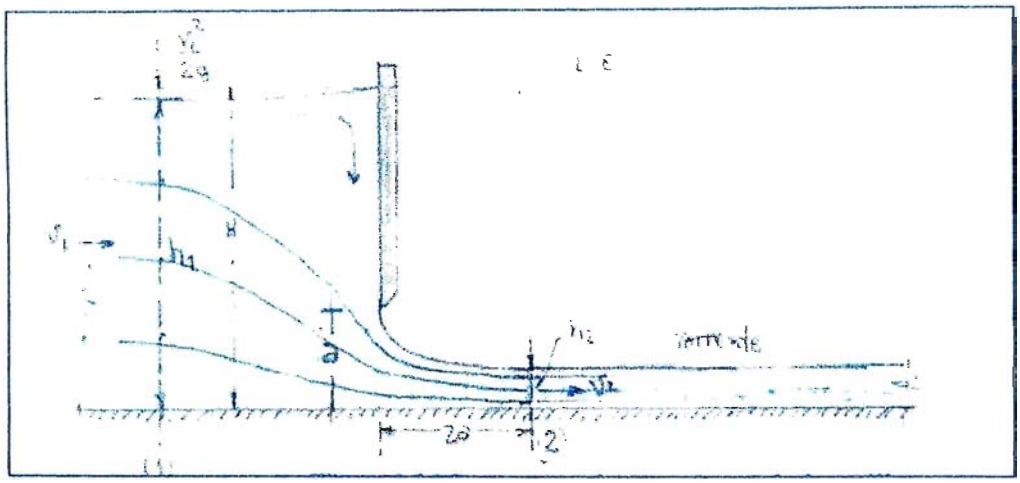
$$v_1 \cdot h_1 = v_2 \cdot C_c \cdot a$$

$$h_2 = C_c \cdot a$$

C_c = Coeficiente de contracción producido por la compuerta,

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 10.8.2.2-1
COMPUERTA PLANA CON ESCURRIMIENTO LIBRE



Fuente: Apunte Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras, H. Mery

Denominando "H" al Bernoulli de las secciones (1) y (2) y despejando la velocidad del torrente en (2), se obtiene:

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - C_c \cdot a)}$$

El caudal unitario (por unidad de ancho), sería:

$$q = C_c \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - C_c \cdot a)}$$

$$q = \frac{C_c}{\sqrt{1 + \frac{C_c \cdot a}{H}}} \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Como generalmente la velocidad del escurrimiento aguas arriba de la compuerta es baja, se puede suponer que aproximadamente $H=h_1$ con lo cual la relación (3) se escribe:

$$q = \frac{C_c}{\sqrt{1 + C_c \cdot \frac{a}{h_1}}} \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$$q = C_d \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

C_d = Coeficiente de gasto.

Según Rouse los coeficientes de contracción y de gasto, C_c y C_d, dependen sólo de la geometría del contorno. El coeficiente de contracción del chorro se mantiene

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

relativamente constante para un margen amplio del parámetro "a/h_1". En el caso de una compuerta con el labio constituido por una plancha metálica, la compuerta se comporta como un orificio de pared delgada con contracción superior. Las líneas de corriente cercanas al fondo son prácticamente rectilíneas, no así las líneas superiores, en la zona del sello de la compuerta, que son fuertemente curvadas.

Según los trabajos experimentales del Prof. Smetana de la Universidad de Praga (La Houille Blanche Nº 2 de Mars-Avril de 1948) y de los análisis de T. Benjamín y Betz Petersohn, se pueden obtener los valores indicados en el siguiente cuadro.

CUADRO 10.8.2.2-1
COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN DE COMPUERTAS PLANAS DE ARISTA VIVA

Según	Smetana	Según	T. Benjamín	Según	Betz Petersohn
h1/a	Cc	h1/a	Cc	h1/a	Cc
3,3	0,64	4,4	0,648	4,00	0,620
1,6	0,692	3,30	0,648	3,00	0,625
1,4	0,783	2,75	0,65	2,00	0,644
1,2	0,898	2,50	0,665	1,80	0,654
1,0	1,000	2,15	0,670	1,60	0,668
		2,00	0,689	1,40	0,690
		1,75	0,710	1,20	0,738
		1,50	0,740	1,10	0,789

Fuente: Apunte Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras, H Mery

c) Curvas de Descarga

Con el fin de mostrar la variación del caudal en función de la altura de carga H, la apertura de la puerta "a" y el ancho del canal b, se ha fijado el valor de la altura de agua aguas arriba de la compuerta en H=0,5 m, H = 0,3 m y H = 0,1 m y el valor del ancho de la compuerta y el canal en b=0,20 m y b = 0,5. En el Cuadro 10.8.2.2-1 se presentan los resultados y en el Anexo 10-5 se encuentran los cálculos.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.8.2.2-2
CURVA DE DESCARGA COMPUERTA

a (m)	Ancho de base b= 0,2 m			Ancho de base b= 0,5 m		
	Q (L/s)			Q (L/s)		
	H = 0,5 m	H = 0,3 m	H = 0,1 m	H = 0,5 m	H = 0,3 m	H = 0,1 m
0,01	0,7	0,7	0,6	1,7	1,7	1,6
0,02	1,9	1,9	1,7	4,7	4,6	4,3
0,03	3,4	3,3	2,9	8,6	8,3	7,4
0,04	5,2	5,0	4,3	13,0	12,5	10,8
0,05	7,2	6,9	5,7	17,9	17,2	14,4
0,06	9,3	8,8	7,2	23,3	22,1	18,1
0,07	11,6	10,9	8,8	28,9	27,3	21,9
0,08	13,9	13,2	10,6	34,8	33,0	26,5
0,09	16,5	15,5	12,3	41,1	38,8	30,6
0,10	19,1	17,9	13,9	47,7	44,7	34,8
0,11	21,8	20,3	15,6	54,5	50,8	39,0
0,12	24,6	22,8	17,3	61,5	57,0	43,2
0,13	27,5	25,3	19,0	68,7	63,3	47,5
0,14	30,4	27,9	20,7	76,0	69,7	51,7
0,15	33,4	30,5	22,4	83,5	76,3	56,0
0,16	36,4	33,1	24,1	91,1	82,9	60,4
0,17	39,6	36,5	27,1	98,9	91,3	67,6

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en el Cuadro 10.8.2.2-1 mientras mayor es la carga mayor es el caudal de salida para una misma apertura de puerta, además si se considera una mayor sección evidentemente el caudal será mayor.

d) Consideraciones del Diseño de la Cámara

Se necesita una cámara de carga de modo que cuando se esté regando el canal, el nivel de esta no baje, para no producir cambios en el caudal de salida de la compuerta.

La cámara será construida de hormigón armado y tendrá un vertedero para evacuar el agua en exceso directamente hacia el rio.

Para el buen funcionamiento del sistema la cámara deberá estar lo más llena posible para asegurar un caudal de salida constante en la compuerta.

e) Diseño del Canal Aguas Abajo de la Compuerta

El canal aguas abajo deberá ser de hormigón armado y se ha calculado que con una pendiente mínima de i=0,007 el flujo aguas abajo de la compuerta se comporta como torrente, condición necesaria para el buen funcionamiento del sistema.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.8.2.3. Obra de Aforo

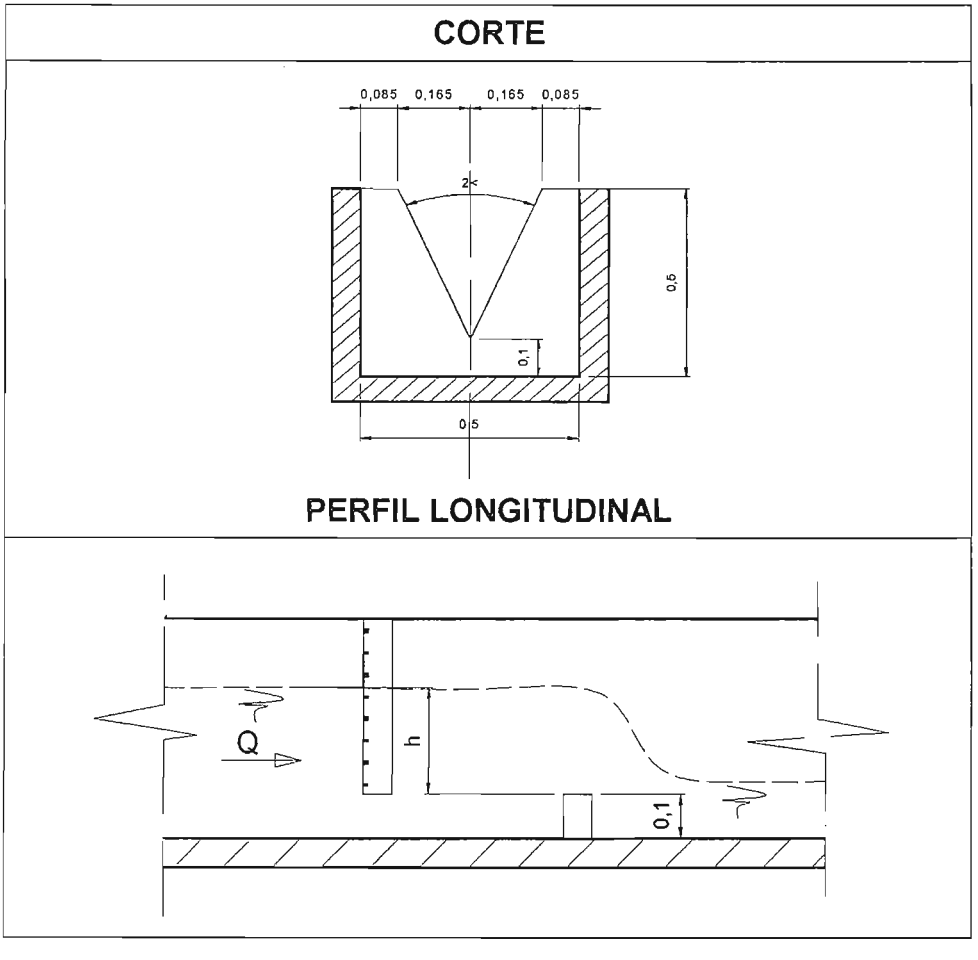
La obra de aforo facilita la operación de la compuerta ya que indica el caudal que está saliendo por ella, y por lo tanto, no es necesario fijarse en la carga que tiene aguas arriba. Se analizan dos tipos de obras de aforos.

- **Vertedero Triangular Tipo**

El aforo de las obras considera para caudales de diseño menores a 30 l/s, el uso de un vertedero triangular tipo. Para caudales mayores al señalado se propone un aforador de barrera triangular.

Para la regulación del caudal se propone, aguas arriba del sistema de aforo, la construcción de una compuerta plana vertical, que mediante la abertura de su compuerta permita la regulación del caudal al canal, según el siguiente esquema.

FIGURA 10.8.2.3-1
ESQUEMA VERTEDERO TRIANGULAR



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

El diseño de este sistema se determina en función de la máxima capacidad de porteo, inserto en una sección rectangular de 0,5 m x 0,5 m y α=22,4161°.

La altura de inicio del vertedero triangular de 0,10 m es necesaria para independizar el escurrimiento desde aguas abajo de acuerdo a la magnitud de los caudales a portear.

El caudal de este tipo de vertedero esta dado por:

$$Q = m \cdot tga \cdot h^2 \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Donde m es el coeficiente de gasto determinado según experiencia de Cruz – Coke y Moya (Fig. 235 Hidráulica e J. F. Domínguez, 5° Edición).

CUADRO 10.8.2.3-1
CURVA VERTEDERO TRIANGULAR

CARGA (h) (cm)	m	Caudal (l/s)
5	0,347	0,35
10	0,330	1,91
12	0,328	2,99
15	0,326	5,19
20	0,325	10,62
25	0,325	18,56
28	0,325	24,64
30	0,325	34,40

Fuente: Elaboración Propia

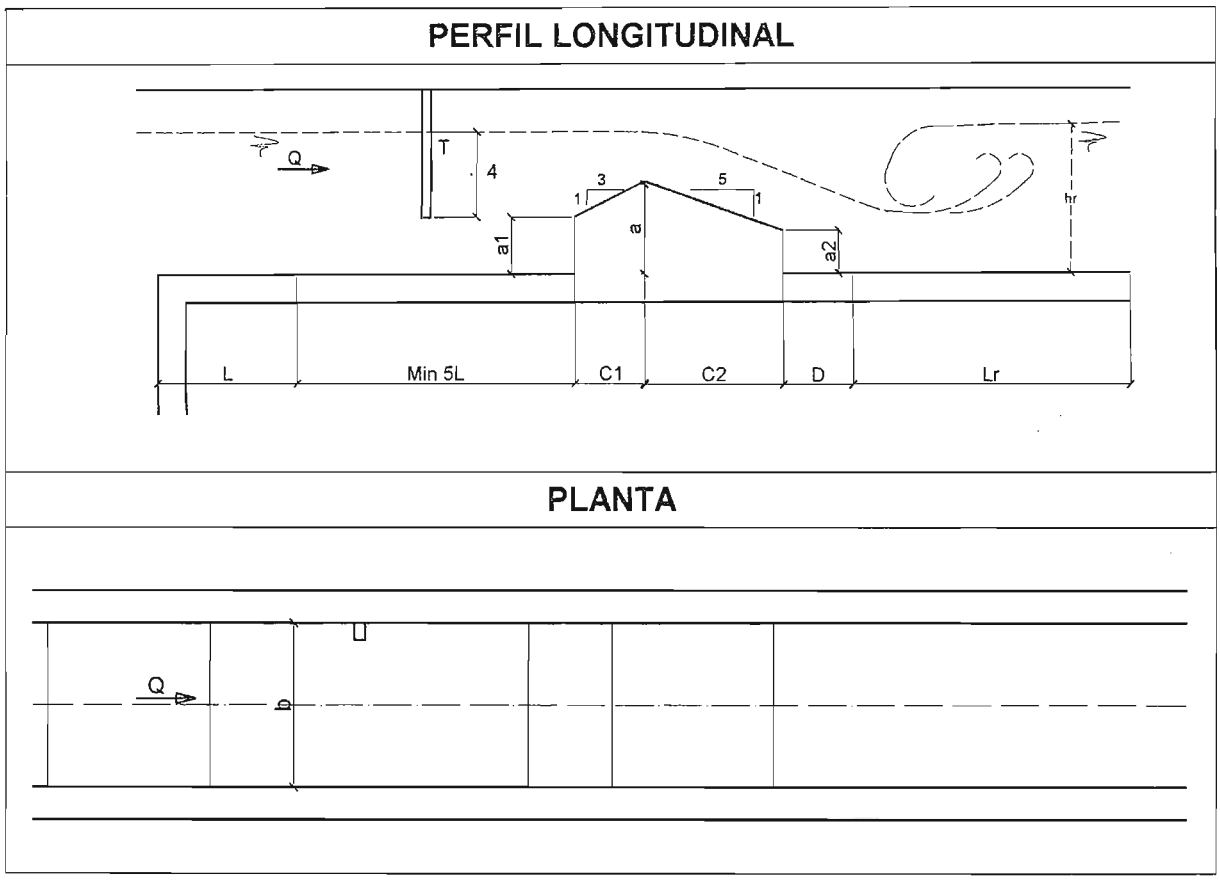
De acuerdo a esta curva de descarga, este tipo de estructura de medición será válida para caudales menores a 30l/s.

- **Barrera Triangular con Regla**

El esquema se esta obra se presenta en la Figura 10.8.2.3-2 siguiente:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.8.2.3-2
ESQUEMA BARRERA TRIANGULAR



En la figura anterior se definen los siguientes parámetros:

Q = caudal de diseño (m3/s)
Ba = ancho total de la obra (m)
q = caudal unitario (m3/s/m)
h carga = altura sobre la barrera (m)
a = altura de la barrera (m)
h1 = altura del agua aguas arriba de la barrera (sección 1)
h2 = altura del agua aguas abajo de la barrera (sección 2)

El cálculo de la altura de la grada (a) se realiza utilizando el Gráfico de la Figura 10.8.2.3-3, considerando el parámetro K, cuya expresión es la siguiente:

$$K = \frac{a}{hc}, con\ hc = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Donde:

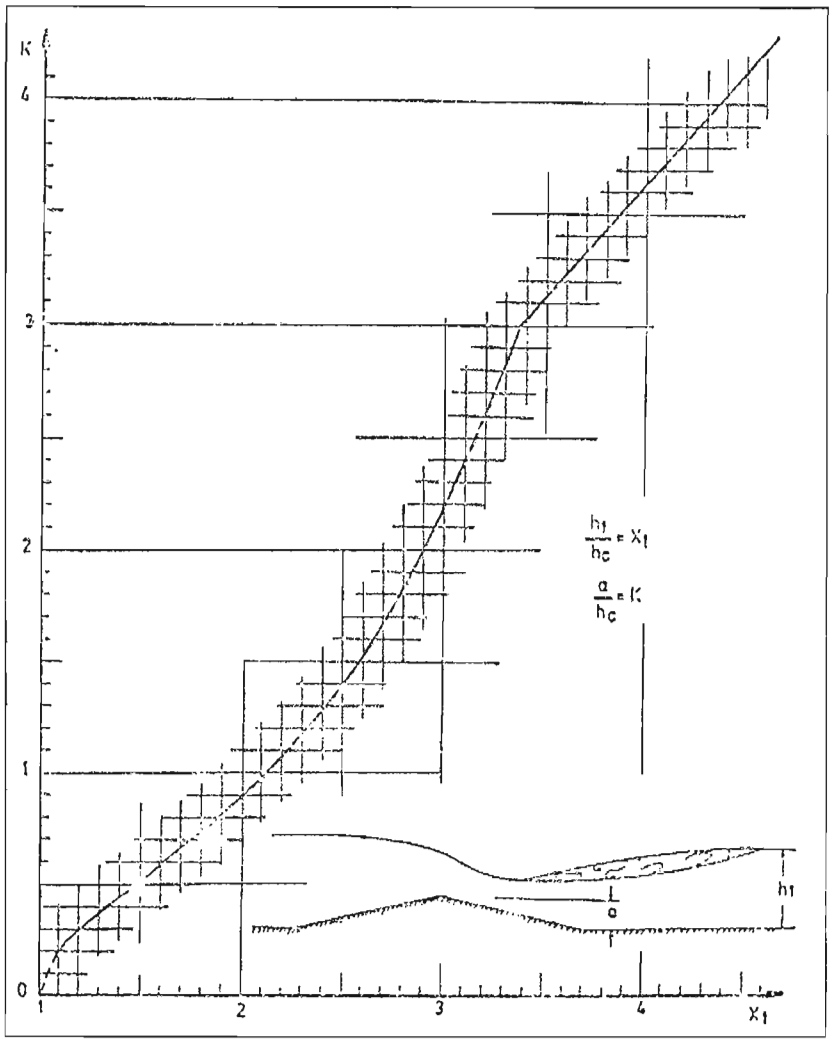
a = altura de grada (m)

hc = altura critica (m)

q = caudal unitario ($m^3/s/m$)

Para estimar K, se debe calcular la variable. $X_1 = h_1/hc$, donde h_1, corresponde a la altura de escurrimiento aguas abajo del resalto.

FIGURA 10.8.2.3-3
DETERMINACIÓN ALTURA DE GRADA



Fuente: Hidráulica, Francisco Javier Domínguez

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Utilizando el concepto de conservación de energía y considerando la pérdida de carga que se produce en la desaceleración del flujo debido a la transición del canal hacia la canoa, se tiene la siguiente expresión que relaciona los parámetros de la sección (2) y (3).

$$E_2 = E_3 + \Lambda_{sT}$$

Donde $E_i = Z_i + h_i + \frac{v_i^2}{2g}$ corresponde a la energía en la sección i, donde z_i es la cota de fondo del canal, h_i la altura de escurrimiento del canal y v_i la velocidad del escurrimiento.

Por otra parte, $\Lambda_{sT} = K_e \cdot \left| \frac{v_{CT}^2}{2g} - \frac{v_{CR}^2}{2g} \right|$, es la pérdida de carga singular en la transición, donde:

K_e = Coeficiente de pérdida por expansión, aproximadamente 0,5.

V_{CT} = Velocidad en canal trapecial

V_{CR} = Velocidad en canal rectangular

Con lo anterior, y considerando que en la sección (3), se tiene escurrimiento normal, es posible obtener el valor para h_2.

En la sección (3) se tiene entonces (Ec. de Manning):

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} = \frac{\Omega^{5/3}}{\Psi^{2/3}}$$

Donde:

n = Rugosidad de Manning

i = Pendiente del canal de salida

Q = Caudal de diseño [m^3/s]

Ω = Área de la sección transversal del canal (función de h_n) [m^2]

Ψ = Perímetro mojado de la sección transversal (función de h_n) [m]

Definida esta altura, y considerando la altura critica (hc), es posible obtener el parámetro X_1, con el que se ingresa al gráfico de la Figura 10.8.2.3-3, y se obtiene el parámetro K, que define la altura de la grada (a).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

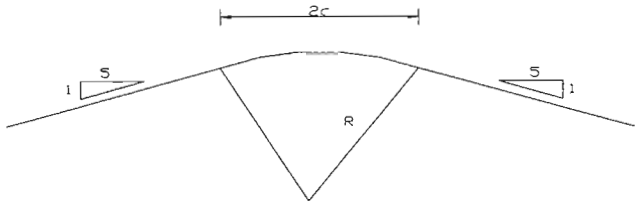
Definido lo anterior, es posible estimar todas las variables correspondientes que definen la geometría de la barrera.

$$R = 3 \cdot hc$$

$$2 \cdot C = 1{,}176 \cdot hc$$

$$aumento\ longitud = 0{,}3 \cdot hc$$

$$Longitud\ total = 10 \cdot a + 0{,}6 \cdot hc$$



Por otra parte, es necesario estimar la longitud total del resalto que se produce aguas abajo de la grada. La longitud de éste, permitirá definir una longitud de obra tal, que las condiciones erosivas que se producen por efectos del resalto, se encuentren en el interior de la obra, para evitar los efectos destructivos de este fenómeno sobre el canal no revestido. La longitud se calcula a partir de la altura de la grada "a" y la altura crítica de escurrimiento.

Teniendo definido lo anterior, será necesario verificar el peralte del eje hidráulico producido hacia aguas arriba por efecto de la grada de subida. Para esto, se tiene la expresión del gasto sobre vertedero libre.

$$Q = m \cdot Ba \cdot h_{carga} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{carga}}$$

Donde:

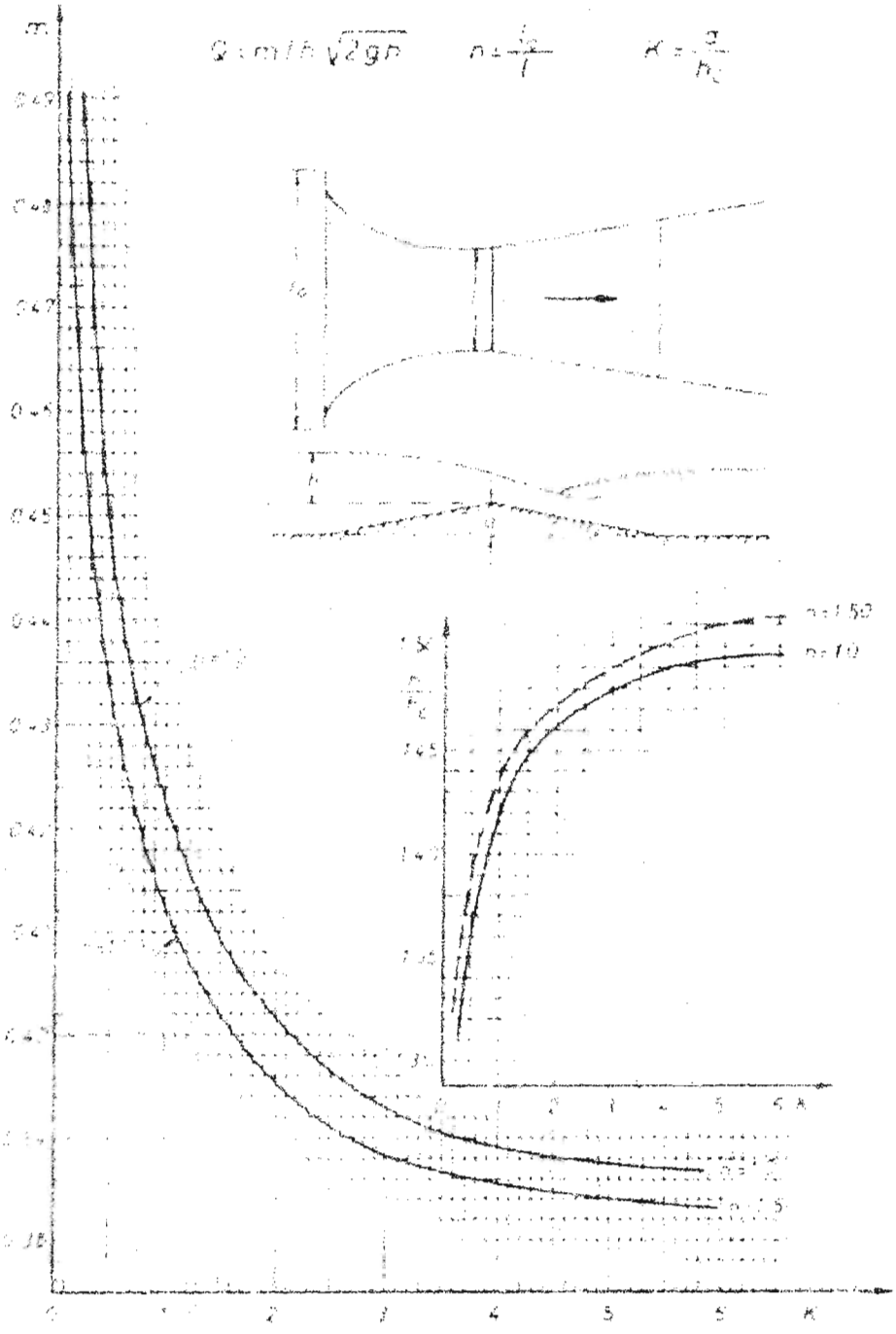
m	=	Coeficiente de gasto (Fig 292, pág 573 F.J. Domínguez)
Ba	=	ancho basal del canal entrante
h_{carga}	=	altura de carga sobre grada.

Del Gráfico de la Figura 10.8.2.3-4, para n=l/Lo=1 (relación de anchos basales), se tiene un coeficiente de gasto m, asociado, que permite estimar la altura de carga (h_{carga}), al resolver la ecuación anterior. Esta altura junto a la altura de la grada, definen la altura de escurrimiento aguas arriba de la misma.

$$h_0 = h_{carga} + a$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.8.2.3-4
COEFICIENTE DE GASTO



Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

10.8.2.4. Resumen Dimensionamiento

En el Cuadro 10.8.2.4-1 se incluye un resumen de los dimensionamiento de las obras proyectadas en cada canal.

CUADRO 10.8.2.4-1
COEFICIENTE DE GASTO

Nº	Canal	Q (L/s)	Tipo	hn (m)	b (m)	a adop (m)	ho (m)	htotal (m)	R (m)	2c (m)	Ltotal (m)
1	Vila Vila	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
2	Vila Vila Peñagrande	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
3	Achacagua 3	60	Barrera Triangular	0,30	0,2	0,12	0,39	0,45	0,63	0,25	1,33
4	Achacagua Uno	60	Barrera Triangular	0,30	0,2	0,12	0,39	0,45	0,63	0,25	1,33
5	Achacagua o Achacagua Dos	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
8	Achacagua o Achacagua Cinco	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
9	Santa Rosa	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
10	San Pedro	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
11	Chile Chico	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
12	Pedregal	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
13	Achacagua tres	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
14	Achacagua seis	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
15	Rosasani	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
16	Ciruelar	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
17	Achacagua o Rinconada	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
18	Tajavire	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
19	Palca	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
20	El Peral	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
21	El Peral 1	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
22	El Peral 2	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
23	Cala Cala	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
24	Poroma Dos	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.8.2.4-1
COEFICIENTE DE GASTO

Nº	Canal	Q (L/s)	Tipo	hn (m)	b (m)	a adop (m)	ho (m)	htotal (m)	R (m)	2c (m)	Ltotal (m)
25	Pucara1 o Pucara	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
26	Chitita	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
27	Rancho	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
28	Chuca Chuca	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
29	Calapaja	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
30	Poroma	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
31	Miraflores	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
32	Tanguaya	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
33	Sabayane Norte Uno	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
34	Sabayane Sur	20	vertedero Triangular Tipo	0,12	0,5x0,5						
35	Chaco NE	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
36	Poroma Tres	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
37	Ancocollo	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
38	Pacayane	20	vertedero Triangular Tipo	0,12	0,5x0,5						
39	Guañacagua	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
40	Naranjane	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
41	Guancarane o Huancarane	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
42	Casicasco	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
43	Marquirabe	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
44	Poroma Cuatro	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
45	Isajima	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
46	Santisimo	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
47	Olivo Segundo Sector	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
49	Las Animas	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
50	Molinos	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
51	La Virgen Uno	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00

CUADRO 10.8.2.4-1
COEFICIENTE DE GASTO

Nº	Canal	Q (L/s)	Tipo	hn (m)	b (m)	a adop (m)	ho (m)	htotal (m)	R (m)	2c (m)	Ltotal (m)
52	Cachi Cachi	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
53	El Tapial - El Arenal Uno	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
55	La Falca	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
56	La Ladera NE	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
58	Calachoco Sur	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
59	Amasaca Chico	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
60	Unificación Amasaca Grande - Tapia	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
62	Unificación Viñanes - Santa Rosa Uno	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
63	La Virgen Dos	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
64	Quilli Quilli	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
66	Santa Rosa Dos	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
67	CANAL -1	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
68	CANAL-2	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
69	CANAL -3	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
70	CANAL-4	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00
71	CANAL-5	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
72	CANAL-6	30	Barrera Triangular	0,17	0,2	0,06	0,23	0,30	0,40	0,16	0,68
73	CANAL-7	25	vertedero Triangular Tipo	0,15	0,5x0,5						
74	CANAL-8	40	Barrera Triangular	0,21	0,2	0,09	0,29	0,35	0,48	0,19	1,00

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.9. PRESUPUESTOS

10.9.1. Costo de las Inversiones

10.9.1.1. Precios Unitarios

Los precios unitarios (PU) que se utilizaron para el proyecto se prepararon a partir de información disponible en la base de datos del Consultor, en proyectos ejecutados en diciembre de 2003.

En el Cuadro 10.9.1.1-1 se muestran los Precios Unitarios de las principales partidas de las obras de arte del embalse, actualizados a Abril de 2012 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 10-6. Los precios indicados son costos directos, es decir, no incluyen gastos generales, utilidades ni tampoco IVA.

CUADRO 10.9.1.1-1
PRECIOS UNITARIOS

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRIVADO
0001	Limpieza / Despeje	m²	$ 1.796
0002	Excavaciones abiertas en roca	m³	$ 15.108
0003	Excavación abierta en roca con explosivo	m³	$ 47.647
0004	Relleno Hormigón Pobre con bolón	m³	$ 47.350
0005	Hormigón H-30	m³	$ 143.747
0006	Excavaciones en material común	m³	$ 2.958
0007	Inyecciones	m	$ 154.613
0008	Pared moldeada (0,6 m espesor)	m²	$ 357.521
0009	Hormigón H-30 túnel	m³	$ 185.196
00010	Excavación Subterránea en Roca	m³	$ 82.589
00011	Instalación de Faenas	Gl	$ 493.000.000
00012	Hormigón H-35	m³	$ 156.749
00013	Hormigón Rodillado	m³	$ 106.253
00014	Relleno Terraplén	m³	$ 5.432
00015	Cruce de Quebradas	un	$ 5.000.000
00016	Grava compactada	m³	$ 8.799
00017	Pantalla Hormigón H-30	m³	$ 143.747
00018	Plinto Hormigón H-30	m³	$ 143.747
00019	Parapeto Hormigón H-30	m³	$ 143.747
00020	Pernos de anclaje para taludes > 70°	m	$ 140.985
00021	Marcos de refuerzo	un	$ 512.447
00022	Puente cruce rio	un	$ 36.000.000
00023	Excavaciones en material fluvial	m³	$ 3.844
00024	Obra de Captación y Entrega V. Tradicional	Gl	$ 42.000.000
00025	Obra de Captación y Entrega V. de Copa	Gl	$ 47.000.000

CUADRO 10.9.1.1-1
PRECIOS UNITARIOS

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRIVADO
00026	Obra de Captación y Entrega RCC	GI	$ 26.000.000
00027	Ataguías	GI	$ 5.000.000
00028	Túnel desvío presa RCC	GI	$ 10.000.000
00029	Tubería HDPE DN 400 PN16	m	$ 105.635
00030	Tubería HDPE DN 315 PN10	m	$ 38.748
00031	Relleno Común	m^3	$ 861
00032	Retiro excedentes	m^3	$ 2.949
00033	Tubería PRFV DN 350 PN16	m	$ 39.514
00034	Tubería PRFV DN 300 PN10	m	$ 35.742
00035	Cámaras piezas especiales	GI	$ 7.000.000
00036	Tubería Acero DN 10" e=3mm	m	$ 21.673
00037	Tubería Acero DN 12" e=3mm	m	$ 26.044
00038	Tubería Acero DN 14" e=3mm	m	$ 30.401
00039	Tubería Acero DN 16" e=3mm	m	$ 34.827
00040	Tubería Acero DN 18" e=4mm	m	$ 52.116
00041	Retiro excedentes	m^3	$ 2.949
00042	Relleno Común	m^3	$ 861
00043	Relleno material seleccionado	m^3	$ 3.886
00044	Cama de apoyo	m^3	$ 7.554
00045	Emplantillado H-10	m^3	$ 28.363
00046	Ventosa Aerocinética Doble Efecto D=100 mm	un	$ 92.046
00047	Válvula Compuerta BB D=250 mm	un	$ 266.263
00048	Válvula Compuerta BB D=300 mm	un	$ 421.609
00049	Válvula Compuerta BB D=350 mm	un	$ 582.326
00050	Válvula Compuerta BB D=400 mm	un	$ 820.188
00051	Piezas Especiales sin Mecanismo Acero	kg	$ 2.468
00052	Junta Autobloqueante BB DN 250	un	$ 192.874
00053	Junta Autobloqueante BB DN 300	un	$ 221.828
00054	Junta Autobloqueante BB DN 350 mm	un	$ 317.163
00055	Junta Autobloqueante BB DN 400 mm	un	$ 527.841
00056	Junta Autobloqueante BB DN 450 mm	un	$ 730.346
00057	Válvula Mariposa DN = 250 mm	un	$ 650.933
00058	Válvula Mariposa DN = 300 mm	un	$ 861.245
00059	Válvula Mariposa DN = 350 mm	un	$ 1.526.122
00060	Válvula Mariposa DN = 400 mm	un	$ 1.632.764
00061	Válvula Mariposa DN = 450 mm	un	$ 2.119.195
00062	Válvula Compuerta BB D=450 mm	un	$ 978.220
00063	Tubería HDPE D=180 mm	ml	$ 7.922
00064	Tubería HDPE D=250 mm	ml	$ 15.144
00065	Armadura Refuerzo	kg	$ 1.369
00066	Cruces de Quebradas para Canales	GI	$ 35.000.000

Nota: Dólar Dic 2003: $ 621; UF Dic 2003: $ 16.920 Dólar Abr 2012: $ 487; UF Abr 2012: $ 22.536
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

El precio unitario de hormigón rodillado es uno de los precios que más incide en el valor final de la presa RCC, por lo que se ha refinado su cálculo y se ha incluido también una planta de hormigones en Umirpa en las instalaciones de faenas.

En los Cuadros 10.9.1.2-1 a 10.9.1.2-4, se presentan los presupuestos de las capacidades analizadas de la alternativa seleccionada de embalse, según las partidas más importantes del proyecto. El detalle se puede ver en el Anexo 10-6.

10.9.1.2. Presupuesto del Embalse Capacidad Mínima

CUADRO 10.9.1.2-1
PRESUPUESTO CAPACIDAD MÍNIMA DE EMBALSE

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P.Total
1	**Instalaciones Temporales**				**$ 493.000.000**
1.1	Instalación de Faenas	Gl	493.000.000	1	493.000.000
2	**Preparación del terreno**				**$ 5.193.030**
2.1	Limpieza / Despeje	m²	1.796	2.175	3.906.300
2.2	Excavaciones en material común	m³	2.958	435	1.286.730
3	**Excavaciones para muro RCC**				**$ 101.773.134**
3.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108	4.362	65.901.096
3.2	Excavaciones en material fluvial	m³	3.844	6.314	24.269.094
3.3	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108	768	11.602.944
4	**Relleno Asentamiento Presa RCC**				**$ 154.929.200**
4.1	Relleno Hormigón Pobre con bolón	m³	47.350	3.272	154.929.200
4.2	**Volumen presa RCC**				**$ 2.244.307.306**
4.3	Hormigón Rodillado	m³	106.253	18.302	1.944.642.406
4.4	Hormigón H-30	m³	143.747	1.412	202.999.715
4.5	Armadura Refuerzo	kg	1.369	70.610	96.665.186
5	**Vertedero y colchón**				**$ 137.165.552**
5.1	Hormigón H-35	m³	156.749	543	85.124.112
5.2	Armadura Refuerzo	kg	1.369	38.014	52.041.440
6	**Túnel de desvío**				**$ 10.000.000**
6.1	Túnel desvío presa RCC	Gl	10.000.000	1	10.000.000
7	**Obra de captación y entrega**				**$ 26.000.000**
7.1	Obra de Captación y Entrega RCC	Gl	26.000.000	1	26.000.000
8	**Perfilamiento del Río**				**$ 161.237.448**
8.1	Excavación abierta en roca con explosivo	m³	47.647	3.384	161.237.448
9	**Construcción de caminos**				**$ 1.171.167.363**
9.1	**Camino Acceso la Presa**				**$ 852.203.435**
9.1.1	Excavación abierta en roca con explosivo	m³	47.647	14346	683.550.475
9.1.2	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108	9826	148.450.848
9.1.3	Relleno Terraplén	m³	5.432	958	5.202.111
9.1.4	Cruce de Quebradas	un	5.000.000	3	15.000.000
9.2	**Variante Camino**				**$ 318.963.928**
9.2.1	Excavación abierta en roca con explosivo	m³	47.647	5.380	256.340.860
9.2.2	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108	3.685	55.672.980

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.9.1.2-1
PRESUPUESTO CAPACIDAD MÍNIMA DE EMBALSE

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P.Total
9.2.3	Relleno Terraplén	m^3	5.432	359	1.950.088
9.2.4	Cruce de Quebradas	un	5.000.000	1	5.000.000
10	**Mejoramiento Canales Existentes**				**$ 79.673.390**
10.1	Cruces de Quebradas para Canales	Gl	35.000.000	1	35.000.000
10.2	Excavaciones en material común	m^3	2.958	4,3	12.838
10.3	Retiro excedentes	m^3	2.949	5	14.079
10.4	Hormigón H-30	m^3	143.747	154	22.140.991
10.5	Armadura Refuerzo	kg	1.369	7.701	10.543.182
10.6	Tubería HDPE D=180 mm	ml	7.922	198	1.568.556
10.7	Tubería HDPE D=250 mm	ml	15.144	26	393.744
10.8	Control y Aforo	Gl.	1	10000000	10.000.000
11	**Total Costo Directo**	$			**$ 4.903.410.351**
12	**Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)**	**45%**			$ 2.206.534.658
13	**Contingencia (15%)**	**15%**			$ 735.511.553
14	**Sub-Total Neto**	$			**$ 7.845.456.562**
15	**Expropiaciones**				**$ 914.304.000**
15.1	Zona de inundación	ha	4.800.000	187,7	900.768.000
15.2	Zona de muro	ha	4.800.000	0,540	2.592.000
15.3	Expropiaciones por caminos	ha	4.800.000	2,280	10.944.000
16	**TOTALES NETO**				**$ 8.759.760.562**

Nota: Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar Abr 2012: $ 487
UF Dic 2003: $ 16.920 UF Abr 2012: $ 22.536

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.9.1.3. Presupuesto del Embalse Capacidad Media

CUADRO 10.9.1.3-1
PRESUPUESTO CAPACIDAD MEDIA DE EMBALSE

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P.Total
1	**Instalaciones Temporales**				**$ 493.000.000**
1.1	Instalación de Faenas	Gl	493.000.000	1	493.000.000
2	**Preparación del terreno**				**$ 5.911.415**
2.1	Limpieza / Despeje	m²	1.796	2476	4.446.896
2.2	Excavaciones en material común	m³	2.958	495	1.464.519
3	**Excavaciones para muro RCC**				**$ 113.499.427**
3.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108	4951	74.800.403
3.2	Excavaciones en material fluvial	m³	3.844	7053	27.111.188
3.3	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108	767	11.587.836
4	**Relleno Asentamiento Presa RCC**				**$ 198.633.250**
4.1	Relleno Hormigón Pobre con bolón	m³	47.350	4195	198.633.250
4.2	**Volumen presa RCC**				**$ 2.772.946.326**
4.3	Hormigón Rodillado	m³	106.253	23188	2.463.794.564
4.4	Hormigón H-30	m³	143.747	1457	209.426.327
4.5	Armadura Refuerzo	kg	1.369	72845	99.725.435
5	**Vertedero y colchón**				**$ 164.598.662**
5.1	Hormigón H-35	m³	156.749	652	102.148.934
5.2	Armadura Refuerzo	kg	1.369	45617	62.449.728
6	**Túnel de desvío**				**$ 10.000.000**
6.1	Túnel desvío presa RCC	Gl	10.000.000	1	10.000.000
7	**Obra de captación y entrega**				**$ 26.000.000**
7.1	Obra de Captación y Entrega RCC	Gl	26.000.000	1	26.000.000
8	**Perfilamiento del Río**				**$ 156.901.571**
8.1	Excavación abierta en roca con explosivo	m³	47.647	3293	156.901.571
9	**Construcción de caminos**				**$ 1.171.167.363**
9.1	**Camino Acceso la Presa**				**$ 852.203.435**
9.1.1	Excavación abierta en roca con explosivo	m³	47.647	14346	683.550.475
9.1.2	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108	9826	148.450.848
9.1.3	Relleno Terraplén	m³	5.432	958	5.202.111
9.1.4	Cruce de Quebradas	un	5.000.000	3	15.000.000
9.2	**Variante Camino**				**$ 318.963.928**
9.2.1	Excavación abierta en roca con explosivo	m³	47.647	5380	256.340.860
9.2.2	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108	3685	55.672.980
9.2.3	Relleno Terraplén	m³	5.432	359	1.950.088
9.2.4	Cruce de Quebradas	un	5.000.000	1	5.000.000
10	**Mejoramiento Canales Existentes**				**$ 79.673.390**
10.1	Cruces de Quebradas para Canales	Gl	35.000.000	1	35.000.000
10.2	Excavaciones en material común	m³	2.958	4	12.838
10.3	Retiro excedentes	m³	2.949	5	14.079
10.4	Hormigón H-30	m³	143.747	154	22.140.991
10.5	Armadura Refuerzo	kg	1.369	7701	10.543.182
10.6	Tubería HDPE D=180 mm	ml	7.922	198	1.568.556
10.7	Tubería HDPE D=250 mm	ml	15.144	26	393.744

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.9.1.3-1
PRESUPUESTO CAPACIDAD MEDIA DE EMBALSE

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P.Total
10.8	Control y Aforo	Gl.	1	10000000	10.000.000
11	**Total Costo Directo**	$			**$ 5.511.295.332**
12	**Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)**	**45%**			$ 2.480.082.899
13	**Contingencia (15%)**	**15%**			$ 826.694.300
14	**Sub-Total Neto**	$			**$ 8.818.072.531**
15	**Expropiaciones**				**$ 1.156.896.000**
15.1	Zona de inundación	ha	4.800.000	238,2	1.143.360.000
15.2	Zona de muro	ha	4.800.000	0,5	2.592.000
15.3	Expropiaciones por caminos	ha	4.800.000	2,3	10.944.000
16	**TOTALES NETO**				**$ 9.974.968.531**

Nota: Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar Abr 2012: $ 487
UF Dic 2003: $ 16.920 UF Abr 2012: $ 22.536

Fuente: Elaboración propia

10.9.1.4. Presupuesto del Embalse Capacidad Máxima

CUADRO 10.9.1.4-1
PRESUPUESTO CAPACIDAD MÁXIMA DE EMBALSE

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P.Total
1	**Instalaciones Temporales**				**$ 493.000.000**
1.1	Instalación de Faenas	Gl	493.000.000	1	493.000.000
2	**Preparación del terreno**				**$ 6.662.947**
2.1	Limpieza / Despeje	m^2	1.796	2791	5.012.001
2.2	Excavaciones en material común	m^3	2.958	558	1.650.946
3	**Excavaciones para muro RCC**				**$ 123.467.298**
3.1	Excavaciones abiertas en roca	m^3	15.108	5581	84.322.166
3.2	Excavaciones en material fluvial	m^3	3.844	7424	28.539.316
3.3	Excavaciones abiertas en roca	m^3	15.108	702	10.605.816
4	**Relleno Asentamiento Presa RCC**				**$ 229.647.500**
4.1	Relleno Hormigón Pobre con bolón	m^3	47.350	4850	229.647.500
4.2	**Volumen presa RCC**				**$ 3.798.305.475**
4.3	Hormigón Rodillado	m^3	106.253	32721	3.476.704.413
4.4	Hormigón H-30	m^3	143.747	1516	217.859.762
4.5	Armadura Refuerzo	kg	1.369	75779	103.741.300
5	**Vertedero y colchón**				**$ 192.031.772**
5.1	Hormigón H-35	m^3	156.749	760	119.173.757
5.2	Armadura Refuerzo	kg	1.369	53220	72.858.016
6	**Túnel de desvío**				**$ 10.000.000**
6.1	Túnel desvío presa RCC	Gl	10.000.000	1	10.000.000
7	**Obra de captación y entrega**				**$ 26.000.000**
7.1	Obra de Captación y Entrega RCC	Gl	26.000.000	1	26.000.000

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 10.9.1.4-1
PRESUPUESTO CAPACIDAD MÁXIMA DE EMBALSE

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P.Total
8	**Perfilamiento del Río**				**$ 145.275.703**
8.1	Excavación abierta en roca con explosivo	m³	47.647	3049	145.275.703
9	**Construcción de caminos**				**$ 1.171.167.363**
9.1	**Camino Acceso la Presa**				**$ 852.203.435**
9.1.1	Excavación abierta en roca con explosivo	m³	47.647	14346	683.550.475
9.1.2	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108	9826	148.450.848
9.1.3	Relleno Terraplén	m³	5.432	958	5.202.111
9.1.4	Cruce de Quebradas	un	5.000.000	3	15.000.000
9.2	**Variante Camino**				**$ 318.963.928**
9.2.1	Excavación abierta en roca con explosivo	m³	47.647	5380	256.340.860
9.2.2	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108	3685	55.672.980
9.2.3	Relleno Terraplén	m³	5.432	359	1.950.088
9.2.4	Cruce de Quebradas	un	5.000.000	1	5.000.000
10	**Mejoramiento Canales Existentes**				**$ 79.673.390**
10.1	Cruces de Quebradas para Canales	Gl	35.000.000	1	35.000.000
10.2	Excavaciones en material común	m³	2.958	4	12.838
10.3	Retiro excedentes	m³	2.949	5	14.079
10.4	Hormigón H-30	m³	143.747	154	22.140.991
10.5	Armadura Refuerzo	kg	1.369	7701	10.543.182
10.6	Tubería HDPE D=180 mm	ml	7.922	198	1.568.556
10.7	Tubería HDPE D=250 mm	ml	15.144	26	393.744
10.8	Control y Aforo	Gl.	1	10000000	10.000.000
11	**Total Costo Directo**	$			**$ 6.594.195.376**
12	**Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)**	**45%**			$ 2.967.387.919
13	**Contingencia (15%)**	**15%**			$ 989.129.306
14	**Sub-Total Neto**	$			**$ 10.550.712.602**
15	**Expropiaciones**				**$ 1.512.912.000**
15.1	Zona de inundación	ha	4.800.000	312,4	1.499.376.000
15.2	Zona de muro	ha	4.800.000	0,5	2.592.000
15.3	Expropiaciones por caminos	ha	4.800.000	2,3	10.944.000
16	**TOTALES NETO**				**$ 12.063.624.602**

Nota: Dólar Dic 2003: $ 621 Dólar Abr 2012: $ 487
UF Dic 2003: $ 16.920 UF Abr 2012: $ 22.536

Fuente: Elaboración propia

10.9.1.5. Resumen del Presupuesto de las Capacidades de Embalse

Se presenta un resumen de los totales de los costos de embalse en el Cuadro 10.9.1.5-1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.9.1.5-1
RESUMEN DE LOS PRESUPUESTOS

Capacidad	Costo Total Neto ($CLP)
Mínima	$ 8.759.760.562
Media	$ 9.974.968.531
Máxima	$ 12.063.624.602

Fuente: Elaboración propia

10.9.1.6. Presupuesto de la Red de Conducción Ofragía-Chaca

Se presenta el resumen del presupuesto de la red de riego Ofragía-Chaca en el Cuadro 10.9.1.6-1. El presupuesto completo se puede observar en Anexo 10-6.

CUADRO 10.9.1.6-1
RESUMEN PRESUPUESTO CONDUCCIÓN OFRAGÍA-CHACA

ITEM	Descripción	Unidad	P.Total	P.Total	P.Total	P.Total	P.Total
1	Tuberías		$ 2.067.422.892	$ 2.081.935.522	$ 2.380.918.922	$ 2.701.304.267	$ 3.670.632.727
2	Cámaras de Carga		$ 36.701.679	$ 36.701.679	$ 36.701.679	$ 36.701.679	$ 36.701.679
3	Cámaras de Venteo		$ 59.161.218	$ 59.529.818	$ 71.107.688	$ 91.347.518	$ 107.627.213
4	Cámara de Válvulas		$ 35.010.117	$ 35.404.729	$ 46.470.685	$ 53.147.677	$ 61.429.717
5	Total Costo Directo	$	$ 2.198.295.905	$ 2.213.571.746	$ 2.535.198.973	$ 2.882.501.140	$ 3.876.391.335
6	Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)	45%	$ 989.233.157	$ 996.107.286	$ 1.140.839.538	$ 1.297.125.513	$ 1.744.376.101
7	Contingencia (15%)	15%	$ 329.744.386	$ 332.035.762	$ 380.279.846	$ 432.375.171	$ 581.458.700
8	Sub-Total Neto	$	$ 3.517.273.448	$ 3.541.714.794	$ 4.056.318.356	$ 4.612.001.823	$ 6.202.226.136
9	Expropiaciones		$ 47.088.000	$ 47.088.000	$ 47.088.000	$ 47.088.000	$ 47.088.000
10	TOTALES NETO		$ 3.564.361.448	$ 3.588.802.794	$ 4.103.406.356	$ 4.659.089.823	$ 6.249.314.136

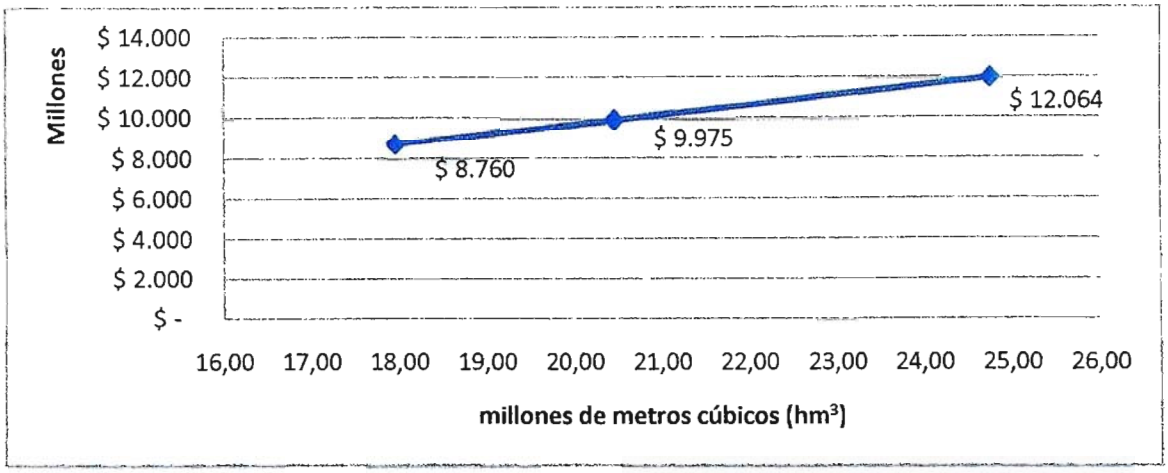
Fuente: Elaboración propia.

10.9.2. Gráficos de Interés

En la Figura 10.9.2-1 se presenta la curva de costo del embalse, según sus capacidades. Esta curva es usada para obtener el costo del embalse calculado según el modelo de simulación.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

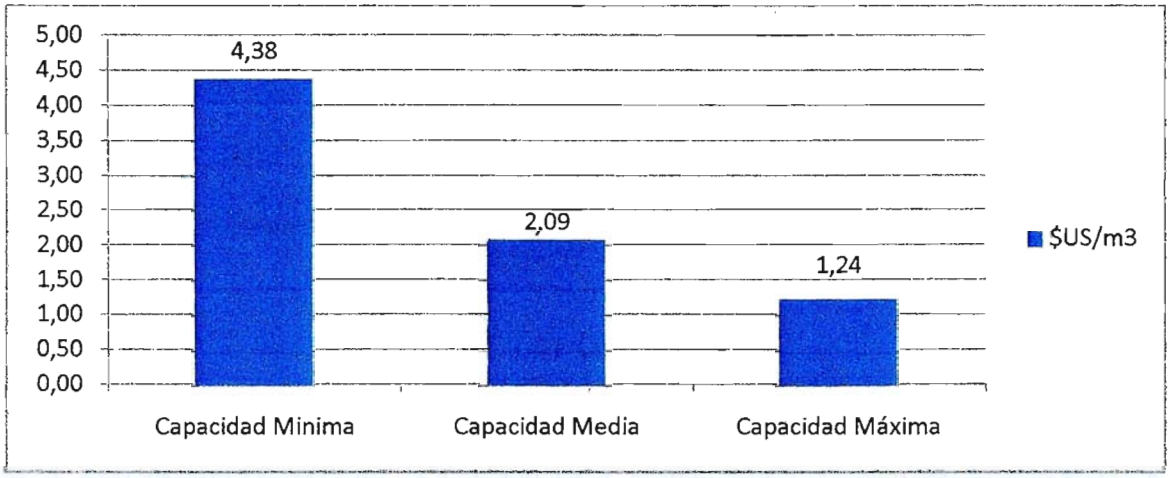
FIGURA 10.9.2-1
CURVA DE COSTO DEL EMBALSE



Fuente: Elaboración propia.

Usando la curva de costo de la Figura 10.9.2-1 se puede determinar el costo por m^3 de agua del embalse, representado en la Figura 10.9.2-2.

FIGURA 10.9.2-2
COSTO POR METRO CÚBICO DE AGUA



Fuente: Elaboración propia.

El Modelo de Simulación ha determinado un embalse de un volumen de 24,77 hm^3, el cual ingresado a la curva de costo del Cuadro 10.9.2-1 presenta un valor de $11.091.270.295.

Como se ha mencionado antes, el proyecto cuenta con tres escenarios, uno sin proyecto (Escenario 1), y dos con proyecto: uno sin la conducción Ofragía – Chaca (Escenario 2) y el otro con la conducción (Escenario 3). En el Cuadro 10.9.2-1 se presenta el resumen de los costos con proyecto.

CUADRO 10.9.2-1
COSTO DEL PROYECTO POR ESCENARIO

Escenario	Costo
Escenario 2	$ 11.091.270.295
Escenario 3	$ 14.655.631.743

Fuente: Elaboración propia.

El costo del Escenario 3 considera el costo del Escenario 2 más el costo de las tuberías de diámetro mínimo, presentado en el Cuadro 10.9.1.6-1.

En el Cuadro 10.9.2-2 se presenta la superficie regada por ambos escenarios y el costo asociado a ellos.

CUADRO 10.9.2-2
SUPERFICIE REGADA DEL PROYECTO

Escenario	Superficie Regada (ha)	Costo (M$US)
Escenario 2	550,3	$ 23,29
Escenario 3	592,3	$ 30,77

Fuente: Elaboración propia.

Usando los valores del Cuadro 10.9.2-2 se puede determinar el costo por hectárea regada del proyecto, presentado en el Cuadro 10.9.2-3.

CUADRO 10.9.2-3
COSTO POR HECTÁREA REGADA

Escenario	Costo por ha ($US/ha)
Escenario 2	42.318,0
Escenario 3	51.593,0

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

10.9.3. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- La curva de costos del Embalse (costo de Embalse v/s Volumen de Agua) tiene un comportamiento lineal. Generalmente el costo más incidente en este tipo de obras es el muro que al aumentar su altura su valor de construcción se encarecesin seguir un comportamiento lineal. En este caso en particularla poca diferencia en la altura del muro del embalse obtenido para las capacidades adoptadas para el análisis, se traduce en una baja variación en el tamaño del muro.

- El costo por metro cúbico de agua disminuye para embalses de mayor tamaño. La morfología de la taza de inundación permite que desde una cota en adelante el aumento de un metro corresponde a la de varios hm3 de agua almacenada, por esta razón al incrementar la altura del muro el costo por metro cúbico disminuye considerablemente.

- La diferencia de los costos de los escenarios 2 y 3 es la conducción Ofragía – Chaca, ya que el volumen útil obtenido para ambos escenarios es el mismo.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

11. ALTERNATIVAS DE NEGOCIO DE HIDROGENERACIÓN

11.1. COSTOS DE MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS (MCH)

Para estimar el costo de la MCH se consultaron los siguientes estudios:

- Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Riego Río El Carmen, Región de Atacama, CNR-2011.
- Proyecto de Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, Segunda Sección Río Aconcagua, CNR-2012.

En el primero de ellos 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. Los costos de cada MCH se presentan en el Cuadro 11.1-1.

CUADRO 11.1-1
COSTOS TOTALES ALTERNATIVAS DE MCH EN ESTUDIO EL CARMEN

Alternativas de MCH	Costo Total (U$)	Costo Total +Op. y Mant. (U$)	P instalada (kW)	Costo Unitario (US$/kW)
1	420.367	427.513	104	4.112
4	627.937	638.612	157	4.074
2	703.298	715.254	194	3.688
3	753.104	765.906	228	3.362
5	1.110.211	1.129.085	289	3.908
6	1.171.550	1.191.466	316	3.767

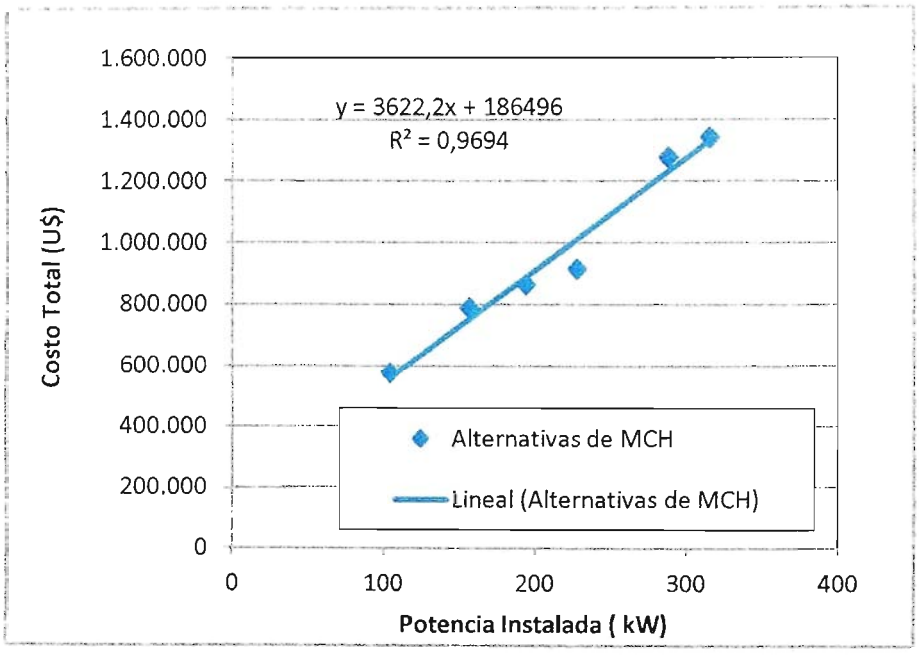
Fuente: Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Riego Río El Carmen, Región de Atacama

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 $ 25.000/Km. En el actual proyecto la distancia para el enlace a una subestación es de al menos 40 Km (Chaca - Arica) en el caso de generar en Chaca y de 150 Km (Umirpa - Arica) a las opciones de generación al pie de la presa. Dada la baja potencia generada de las alternativas de presa, se considera que el uso sólo puede ser local, ya que el costo de una línea simplemente descarta su proyección.

Con los antecedentes anteriores se generó una correlación entre la Potencia instalada y el Costo Total de las MCH (Figura 11.1-1). A partir de esta correlación, se obtuvo una curva de tendencia que se utilizó para estimar los Costos de las MCH propuestas en la quebrada de Vítor. En el Cuadro 11.1-2 se presentan los costos totales obtenidos.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 11.1-1
CORRELACIÓN POTENCIA INSTALADA COSTOS TOTALES



Fuente: Elaboración propia

CUADRO 11.1-2
COSTOS TOTALES MCH QUEBRADA DE VÍTOR

Escenario	Ubicación	Potencia Instalada (kW)	Costo Total +Op. y Mant. (U$)	Costo Unitario (US$/kW)	Costo Total +Op. y Mant. (mill$)
1	Al pie del muro	61	254.902	4.179	124
2	Al pie del muro	61	254.902	4.179	124
	Sector de Chaca	154	591.770	3.843	288

Fuente: Elaboración propia

Cabe indicar que en la MCH proyectada en Chaca se le debe sumar la diferencia de proyectar una tubería de 14 pulgadas en vez de una de 12 pulgadas con el fin de reducir las pérdidas y aumentar la altura neta. Este costo se estima en U$131.300.

Con el fin de demostrar la infactibilidad de conectarse al SING, se ha considerado un valor de la línea de transmisión más baja a la utilizada en el estudio de Catemu (por los efectos de la economía a escala) igual a $ 20.000/Km. De esta manera el costo total de la instalación de la MCH sería el indicado en el Cuadro 11.1-3.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 11.1-3
COSTOS TOTALES MCH QUEBRADA DE VÍTOR INCLUYE LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Escenario	Ubicación	Potencia Instalada (kW)	Costo Total +Op. y Mant. (U$)	Costo Unitario (US$/kW)	Costo Total +Op. y Mant. (mill$)
1	Al pie del muro	61	6.409.506	105.074	3.124
2	Al pie del muro	61	6.409.506	105.074	3.124
	Sector de Chaca	154	2.232.998	14.500	1.088

Fuente: Elaboración propia

El costo total de las MCH's aumenta 25 veces si se quiere transportar desde el sector de embalse y 4 veces si es del sector de Chaca.

11.2. FACTIBILIDAD DE LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

En el Cuadro 11.2-1 se han resumido los resultados estimados de la generación hidroeléctrica en el embalse, bajo los 2 escenarios analizados, en la cual la operación de la central queda supeditada a las entregas de agua para riego.

CUADRO 11.2-1
RESUMEN RESULTADOS GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL EMBALSE

Escenario	Ubicación	Q de Diseño (m^3/s)	Q de generación promedio (m3/s)	h de Diseño (m)	h prom. (m)	Potencia Instalada (kW)	Energía Generada (MWh/año)	Factor de Planta	(Prom. Q Generado) / (Q de Diseño)	(Prom. h Neta) / (h de Diseño)
1	Al pie del muro	0,3	0,191	25	21,2	61	292	0,547	0,64	0,85
2	Al pie del muro	0,3	0,191	25	21,2	61	292	0,547	0,64	0,85
	Sector de Chaca	0,16	0,105	119	118,5	154	884	0,655	0,66	1,00

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación de beneficios hidroeléctricos, se considera el valor de la generación anual producida por las diferentes alternativas de central. Para esto, se considera el precio medio de la energía para el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), el que asciende a la suma de 34,25 $/kWh (precio nudo Charrúa) para el intervalo de tiempo comprendido entre los meses de Abril del año 2011 a Octubre del año 2012[1], y un beneficio

[1] http://www.cne.cl/tarificacion/electricidad/precios-de-nudo-de-corto-plazo

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

producto de la potencia instalada de 53.058,80 $/kW/año. De esta forma, en el Cuadro 11.2-2 se presenta el beneficio anual asociado a la venta de energía y potencia.

Para el caso de las centrales hidroeléctricas, antes de considerar su inclusión dentro del proyecto, se determina la viabilidad de las mismas, mediante el uso del indicador Costo/Potencia (Razón C/P). A priori, se estima que una central es económicamente viable cuando el indicador Razón CP es inferior a US$ 5.000, y sólo en esos casos se debería continuar con un análisis tradicional de VAN y TIR. Por esta razón se presenta en el Cuadro 11.2-3 un resumen con el costo de las alternativas, separando el costo de la central e instalaciones anexas, la potencia instalada y la razón C/P.

CUADRO 11.2-2
BENEFICIO ANUAL ASOCIADO A LA VENTA DE ENERGÍA Y POTENCIA

Escenario	Potencia Instalada (kW)	Energía Generada (MWh/año)	Beneficio por Potencia Instalada (Mill$/año)	Beneficio por Venta de Energía (Mill$/año)	Beneficio Anual (Mill$/año)
1	61	292	0,27	10,0	10,3
2	61	292	0,27	10,0	10,3
	154	884	0,68	30,3	30,9

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 11.2-3
RAZÓN COSTO / POTENCIA MCH

Escenario	Ubicación	Costo Total MCH (Millones US$)	Potencia Instalada (MW)	Razón C/P (Millones US$ / MW)	Razón C/P (US$ / kW)	Razón C/P (US$ / kW) con Línea
1	Al pie del muro	0,25	0,061	4,18	4.179	105.074
2	Al pie del muro	0,25	0,061	4,18	4.179	105.074
	Sector de Chaca	0,72	0,154	4,70	4.695	15.353

Fuente: Elaboración propia

Al analizar la razón C/P, se concluye que sería recomendable realizar su análisis en forma más detallada si es para uso local, en caso contrario la razón C/P no recomienda seguir con el análisis. Dicho análisis consiste en determinar el costo de venta mínimo de la energía, para posteriormente compararlo con el precio medio de energía del SING, valor que anteriormente se indicó asciende a 34,25 $/MWh.

Con el fin anteriormente descrito, se suma el valor actualizado de construcción de la central (en un período de N años) en conjunto con el costo actualizado de operación de la misma (durante 30-N años). Posteriormente, el valor de esta suma se compara con el valor actualizado de la potencia instalada y de la venta de energía que se produce en el período de

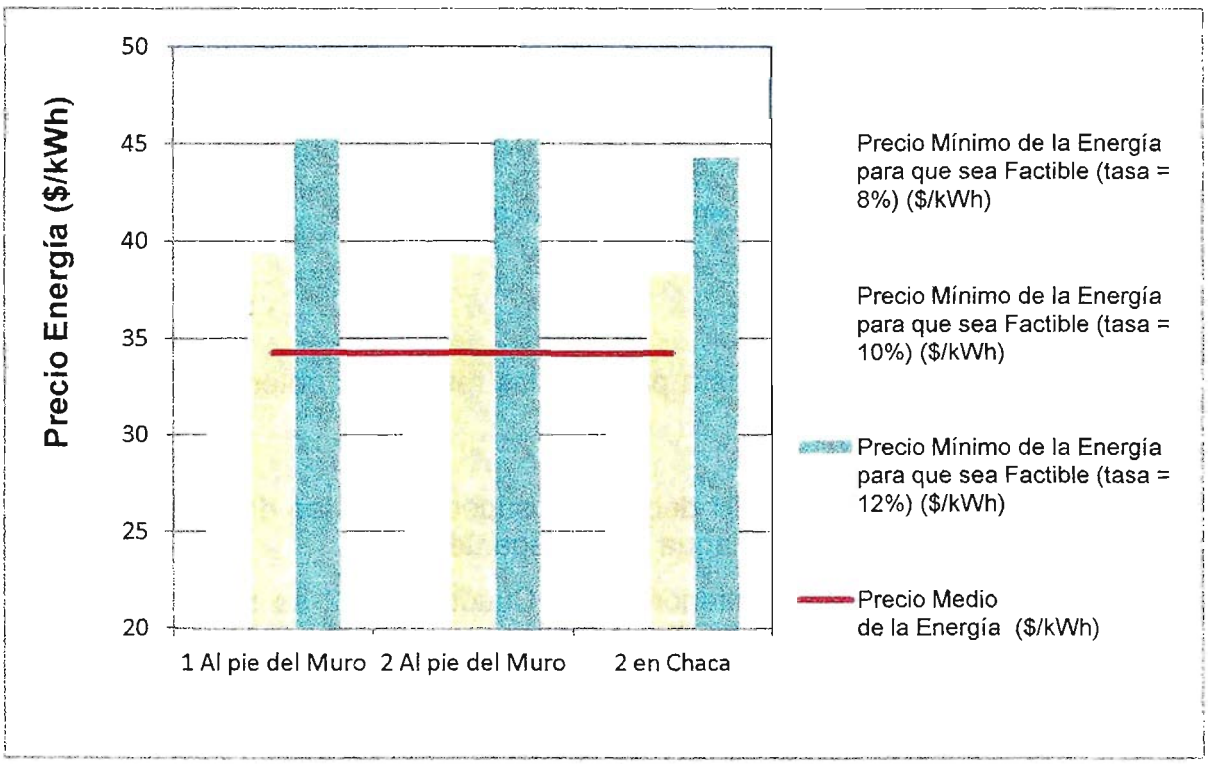
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

evaluación del proyecto (30-N años). De esta manera se calcula el costo de la energía que hace que la inversión se recupere completamente, o sea, el precio mínimo de la energía. De esta manera, si este precio es mayor que el precio medio de la energía del SING, es infactible que el proyecto pueda financiarse. La metodología antes descrita se presenta en forma matemática en la siguiente ecuación, y los resultados del cálculo se presentan en la Figura 11.2-1 y 11.2-2 para precios privados:

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{I_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=N+1}^{30} \frac{O_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=N+1}^{30} \frac{B_{POT.i}}{(1+r)^i} + C_{Min} \cdot \sum_{i=N+1}^{30} \frac{E_i}{(1+r)^i}$$

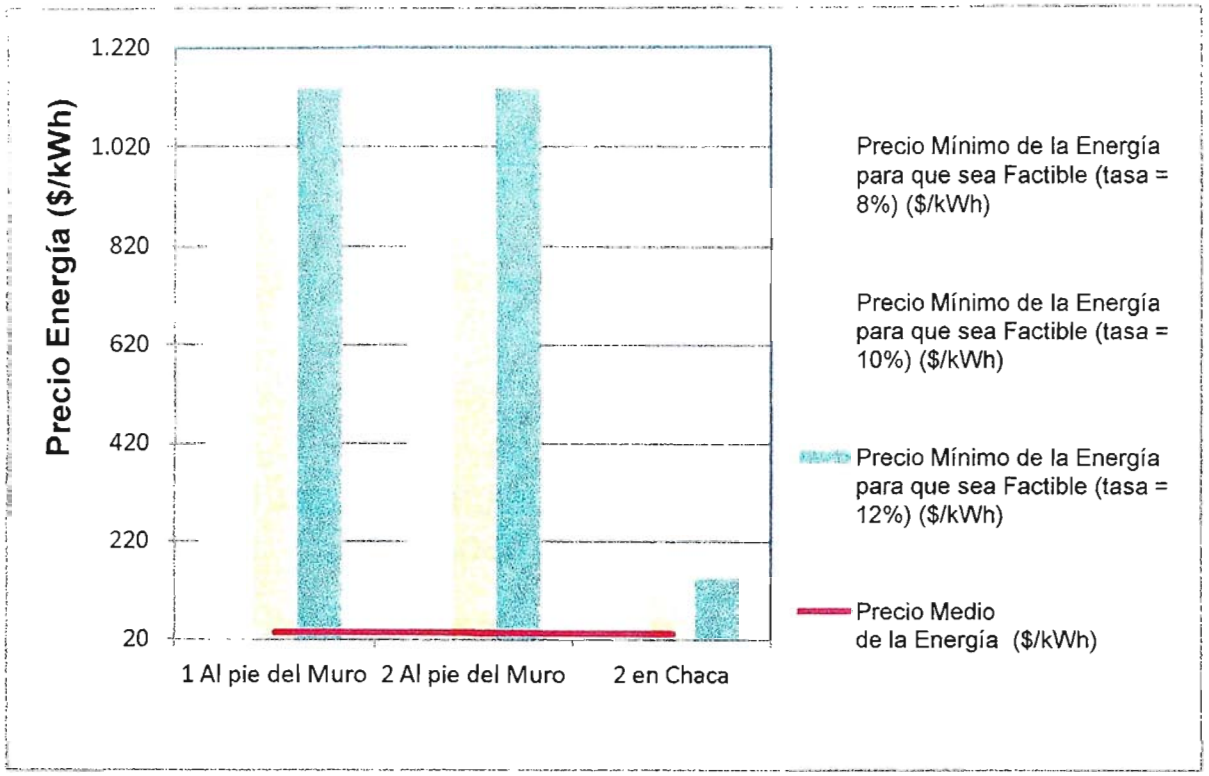
La tasa de descuento utilizada fue de r = 8%, 10% y 12%. En el Anexo 11-1 se presentan los cálculos de cada escenario.

FIGURA 11.2-1
PRECIO MÍNIMO ENERGÍA PARA QUE UNA MCH SEA FACTIBLE
PRECIOS PRIVADOS USO LOCAL



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 11.2-2
PRECIO MÍNIMO ENERGÍA PARA QUE UNA MCH SEA FACTIBLE
PRECIOS PRIVADOS CON LÍNEA DE TRANSMISIÓN



Fuente: Elaboración propia

11.3. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas a partir de los resultados obtenidos de la simulación, son las siguientes:

- La operación de la MCH debe estar supeditada a las demandas de riego y al uso de los derechos de agua de los regantes.
- Por la misma razón anterior, en el Cuadro 11.2-2 se puede apreciar que la energía generada y factor de planta que son posibles de obtener son reducidos, debido a la variación de los caudales de entrega del embalse y de la altura de agua. Eso además, conlleva a que no se pueda comercializar una potencia firme que permita aumentar los beneficios de la central.
- A partir de los resultados del Cuadro 11.2-3, al analizar la razón C/P, se concluye que es recomendable realizar su análisis en forma más detallada siempre que se considere la posibilidad de un uso local, en caso contrario el costo de la inversión aumentaría en 25 y 4 veces el costo de la MCH si ésta se ubica al pie del embalse o en Chaca, respectivamente.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

- A partir de los resultados del Figura 11.2-1, al analizar el precio mínimo requerido para la energía para que el proyecto sea rentable y al compararlo con el precio medio de energía del SING (34,25$/MWh), se refuerza la conclusión referente a que las opciones de generación no son rentables, por lo que no es recomendable realizar su análisis en forma más detallada ni generar alternativas de negocios.
- Por lo anterior, una MCH a pie del embalse Umirpa estaría restringida a un uso local, cercano al embalse, o bien para abastecer las instalaciones y operación propia del embalse. Lo mismo ocurre al emplazar la MCH en el sector de Chaca.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

12. ANÁLISIS DE EFECTO REGULADOR DE CRECIDAS DEL EMBALSE

12.1. METODOLOGÍA

12.1.1. Objetivo

El objetivo del capítulo es evaluar el efecto regulador de crecidas de la alternativa de embalse seleccionada.

12.1.2. Consideraciones Generales

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.

12.1.3. Procedimiento de Cálculo

Las ecuaciones para simular el paso de una crecida por un embalse con vertedero libre o sin control son las siguientes:

$$(1)\ Q_{EF} = m \cdot L \cdot h\sqrt{2 \cdot g \cdot h}\ ;\ g, m, l\ son\ constantes$$

$$(2)\ Vol_{final}(t) = Vol_{inicial}(t) + Q_{AF}(t) \cdot \Delta t - Q_{EF}(t) \cdot \Delta t$$

$$(3)\ h = f(Vol)\ ;\ curva\ de\ embalse$$

La ecuación (1) representa el caudal de salida del vertedero, 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 vertedero [m]
m = coeficiente de gasto

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El coeficiente de gasto "m" para los vertederos tipo Ogee varía con la carga relativa $h/Hd = \lambda$, donde H_d corresponde a la altura de escurrimiento de diseño. Según capítulo de Diseño de Obras (Mery, 2007), los antecedentes experimentales permiten establecer la siguiente ecuación para el coeficiente de gasto:

$$m = \frac{2}{3 * \sqrt{3}} * (1 + \frac{4\lambda}{9 + 5\lambda})$$

La ecuación (2) representa el volumen del embalse en el tiempo "t" en donde:

QAF (t) = hidrograma de crecidas

Δt = 1 hora = 3600 s

La ecuación (3) representa la altura del embalse en relación con el volumen almacenado, determinada más adelante.

Como estas ecuaciones no son lineales, se debe usar un método iterativo para poder resolverlos. El procedimiento es el explicado a continuación.

12.1.4. 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 $i + 1$ $[m^3/s]$

12.1.4.1. Cálculo de Función Almacenamiento-Caudal de Salida

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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Luego, se procede a calcular el valor de:

$$\frac{2 \cdot S}{\Delta t} + Q$$

Donde:

S = almacenamiento del embalse obtenido de las curvas de embalse

Δt = intervalo de tiempo considerado

Q = caudal de salida del vertedero

12.1.4.2. Cálculo del Caudal de Salida del Embalse

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:

$$S_{i+1} = \left(I_i + I_{i+1} + \left(\frac{2 \cdot S_i}{\Delta t} - Q_i\right) - Q_{i+1}\right) * \frac{\Delta t}{2}$$

12.2. CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE Y VERTEDERO

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, m = 0,495. Para efectos de esta evaluación se considera 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 0,450.

Se analizaron cuatro casos de capacidades de la alternativa de embalse, capacidad mínima, capacidad media, capacidad máxima y capacidad según modelo de simulación. En el Cuadro 12.2-1 se resumen las principales características de estas capacidades.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 12.2-1
CARACTERÍSTICAS CAPACIDADES DE EMBALSE

Capacidades de Embalse	Volumen Muerto		Volumen Útil	Volumen Umbral		Volumen Coronamiento		Categoría Embalse
	(hm3)	Altura (m)	(hm3)	(hm3)	Altura (m)	(hm3)	Altura (m)	
Mínima	2,80	14,50	4,10	6,90	18,39	11,20	21,09	B
Media	2,80	14,50	9,80	12,60	21,84	18,23	24,54	B
Máxima	2,80	14,50	20,00	22,80	26,44	30,40	29,14	B
Según M.S.	2,80	14,50	15,30	18,10	24,49	24,74	27,19	B

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 12.2-2 se muestran las características del vertedero y cotas relevantes para cada una de las capacidades mencionadas anteriormente.

CUADRO 12.2-2
CARACTERÍSTICAS DEL VERTEDERO Y COTAS RELEVANTES

Capacidad	Unidad	Capacidad Mínima	Capacidad Media	Capacidad Máxima	Capacidad según Modelo de Simulación
Coef. De Gasto "m"	-	0,45	0,45	0,45	0,45
Largo de Vertedero	m	30	30	30	30
Cota Vertedero	m	3878,39	3881,84	3886,44	3884,49
Cota Coronamiento	m	3881,09	3884,54	3889,14	3887,19
Cota Fondo	m	3860	3860	3860	3860
H Vertedero	m	18,39	21,84	26,44	24,49
H Coronamiento	m	21,09	24,54	29,14	27,19
Vol. Vertedero	Hm3	6,93	12,59	22,83	18,12
Vol. Max	Hm3	11,20	18,23	30,40	24,74
Vol. Regulación	Hm3	0,0	1,2	11,4	6,7

Fuente: Elaboración propia.

El modelo de simulación ha determinado los volúmenes medios del embalse en las temporadas de crecidas de la zona. Estos volúmenes se presentan en el Cuadro 12.2-3.

CUADRO 12.2-3
VOLUMEN MEDIO MENSUAL DEL EMBALSE (hm^3)

Mes	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Promedio	10,873	10,099	9,496	10,535	13,069	14,318	14,064	13,609	13,146	12,673	12,175	11,589

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Para determinar el volumen de regulación se debe conocer la cantidad de agua almacenada en el embalse al momento de la crecida. Para este efecto se ha considerado calcular el promedio desde los meses Octubre hasta Marzo. El volumen medio mensual es de 11,4 hm^3, de modo que el volumen de regulación es:

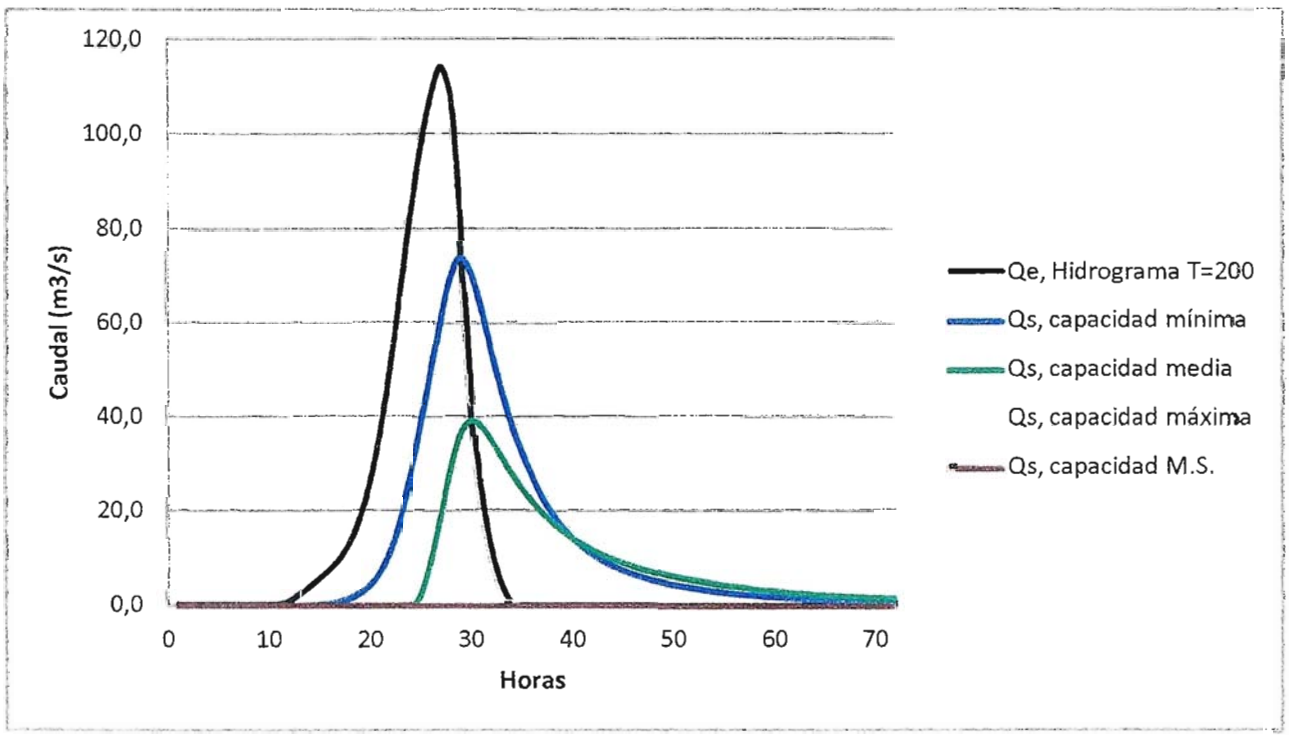
$$Volumen\ de\ Regulación = Volumen\ de\ Vertedero - Volumen\ Almacenado$$

Nótese que en el Cuadro 12.2-2, el volumen de regulación de la capacidad mínima de almacenamiento es cero, esto se debe a que en el momento que llega la crecida el embalse estaría completamente lleno.

12.3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

El efecto regulador del embalse se calculó para distintos períodos de retorno de la crecida, desde 20 años hasta 10.000 años. En las Figuras 12.3-1 y 12.3-2 se presentan los hidrogramas de entrada y de salida para las crecidas de T=200 años y T=1.000 años, respectivamente. Los demás cálculos se encuentran en el **Anexo 12-1**.

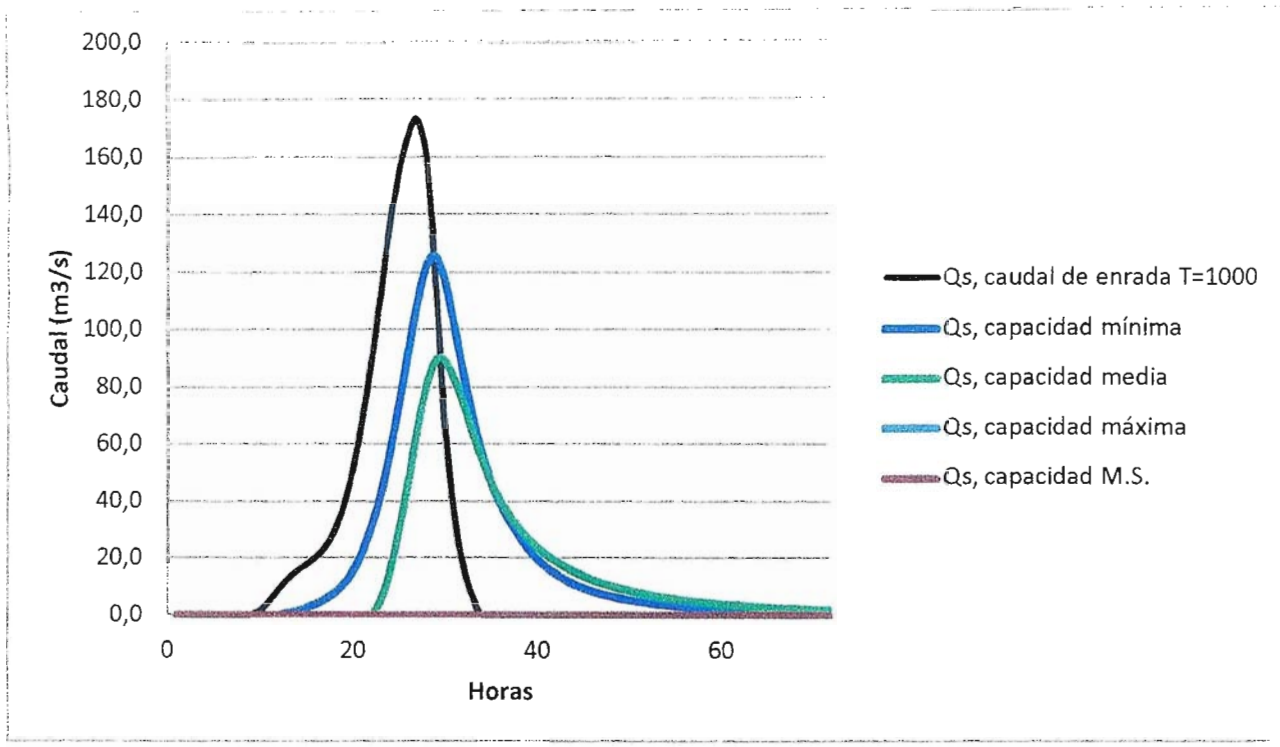
FIGURA 12.3-1
HIDROGRAMA DE ENTRADA Y SALIDA PERÍODO DE RETORNO T = 200 AÑOS.



Qe: caudal de entrada, Qs: caudal de salida.
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

FIGURA 12.3-2
HIDROGRAMA DE ENTRADA Y SALIDA PERÍODO DE RETORNO T = 1.000 AÑOS



Qe: caudal de entrada, Qs: caudal de salida.
Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 12.3-1 se resumen los resultados obtenidos al realizar la estimación del efecto regulador del embalse para todas las distintas crecidas analizadas. En la Figura 12.3-3 se muestra gráficamente estos valores.

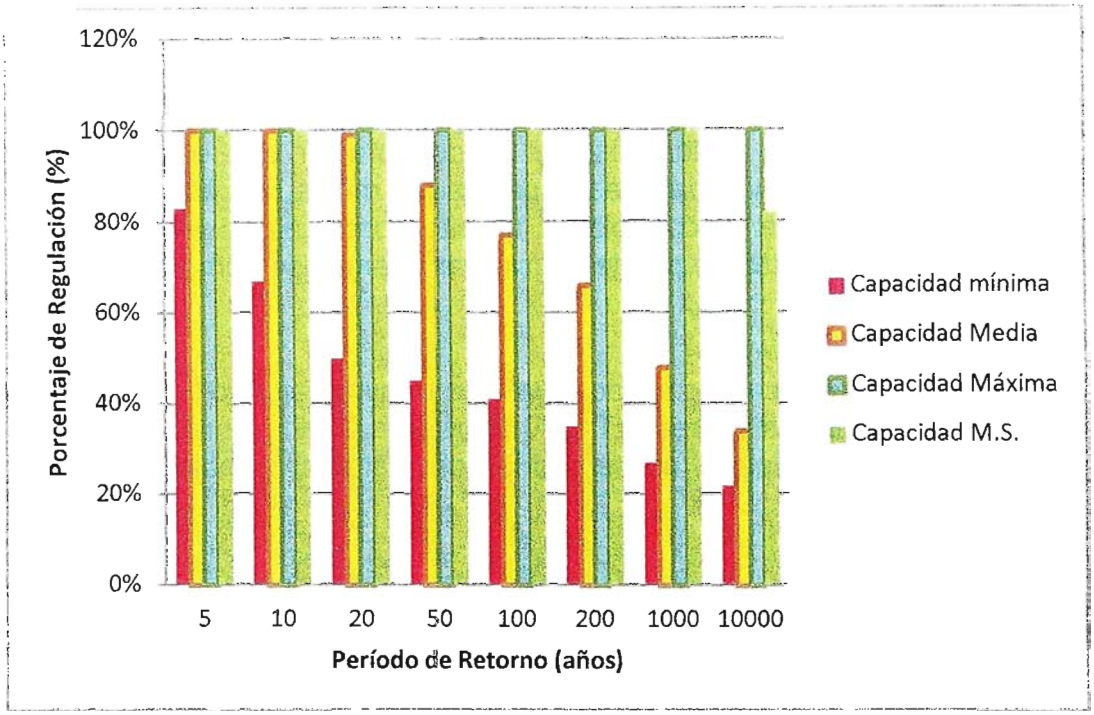
CUADRO 12.3-1
CAUDALES MÁXIMOS Y PORCENTAJE DE REGULACIÓN

T	Qe	Capacidad							
		Mínima		Media		Máxima		Según M.S.	
		Qs	Regulación	Qs	Regulación	Qs	Regulación (%)	Qs	Regulación
años	m^3/s	m^3/s	%	m^3/s	%	m^3/s	%	m^3/s	%
5	9,4	1,6	83%	0,0	100%	0,0	100%	0,0	100%
10	24,4	7,9	67%	0,0	100%	0,0	100%	0,0	100%
20	51,9	25,8	50%	0,5	99%	0,0	100%	0,0	100%
50	69,9	38,1	45%	8,3	88%	0,0	100%	0,0	100%
100	89,0	52,8	41%	20,2	77%	0,0	100%	0,0	100%
200	114,1	73,8	35%	39,2	66%	0,0	100%	0,0	100%
1000	173,0	125,6	27%	89,5	48%	0,0	100%	0,0	100%
10000	270,1	209,8	22%	179,5	34%	0,0	100%	48,6	82%

Fuente: Elaboración propia.

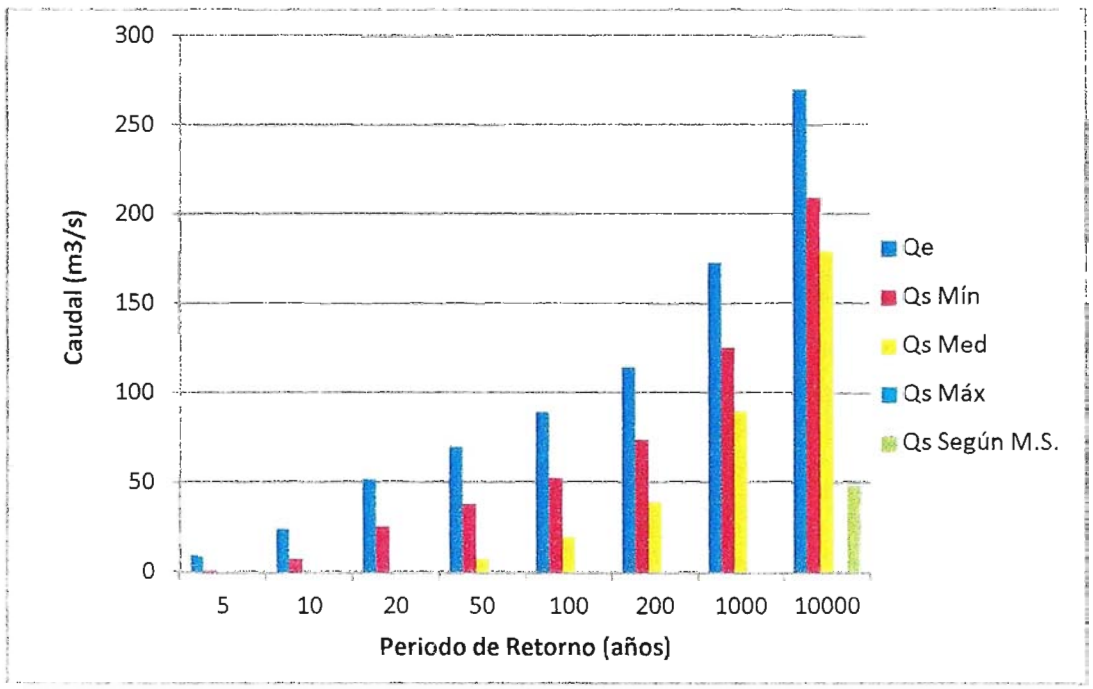
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 12.3-3
REGULACIÓN PORCENTUAL PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 12.3-4
REGULACIÓN PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO



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

Cabe destacar, que en la Figura 12.3-4 no aparece el caudal de salida del embalse de capacidad máxima (Qs Máx), esto se debe a que la presa es capaz de absorber toda la crecida.

12.4. CONCLUSIONES

Dado los resultados anteriores, se puede apreciar que el efecto regulador del embalse es muy alto, sobre todo para las capacidades media, máxima y capacidad según modelo de simulación, ya que se controla en un alto porcentaje la crecida. Si se escogen estas capacidades mencionadas se puede considerar el embalse como un gran regulador de crecidas.

Para un embalse con capacidad igual a la mínima, el efecto de regulación resulta bajo para periodos iguales o mayores a T=200 años (< a 30%), de modo que si se escoge esta capacidad como la de diseño, no se podría considerar el embalse como regulador de crecidas.

12.5. BIBLIOGRAFÍA

Hidrología Aplicada (Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

13. INTERFERENCIAS Y EXPROPIACIONES

13.1. INTERFERENCIAS

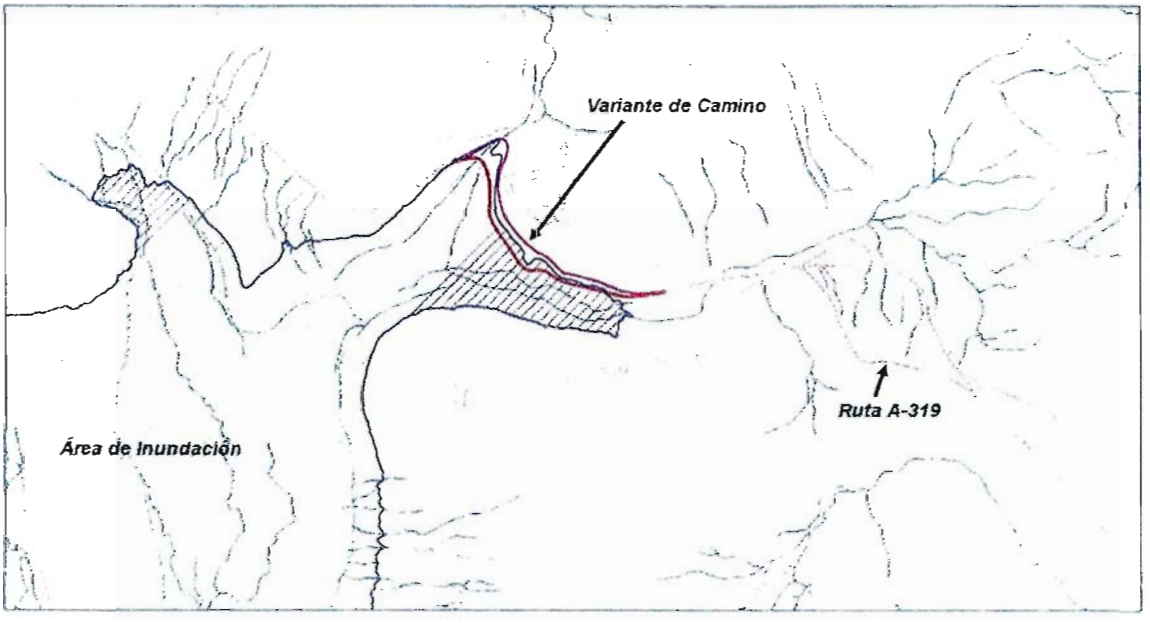
La interferencia que se debe considerar para el sitio de embalse seleccionado es la reposición de la ruta regional primaria A-319, en el tramo que se verá afectado por el área de inundación del embalse.

13.1.1. Modificación Ruta A-319

Debido a que el área de inundación del embalse afectaría parte de la ruta regional primaria A-319 existente que permite el acceso al Salar de Surire y que va desde la ruta A-31 (sector de Parcohaylla) a la ruta A-95 (Salar de Surire), se realizó un trazado alternativo a una cota mayor que la de inundación, variante que tiene una longitud aproximada de 512 m. El trazado del proyecto de alternativa vial, tiene su origen en el Km 24,5 de la ruta. Desde este punto va paralelo al área de inundación hasta empalmar con el camino actual. Este trazado alternativo se ilustra en la Figura 13.1.1-1.

El diseño geométrico consideró 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.

FIGURA 13.1.1-1
TRAZADO CAMINO PROYECTADO



Fuente: Elaboración propia a partir información Google Earth

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

13.1.2. Cubicaciones y Presupuesto de Camino

El detalle del presupuesto y cubicaciones se presenta en el Cuadro 13.1.2-1.

CUADRO 13.1.2-1
DETALLE DE COSTOS CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS

Construcción de caminos	unidad	Precio Unitario ($/Unid)	Cantidad	Precio Total ($)
Excavación abierta en roca con explosivo	m³	47.647	5380	256.334.001
Excavaciones abiertas en roca	m³	15.108	3685	55.670.135
Relleno Terraplén	m³	5.432	359	1.950.600
Cruce de Quebradas	un	5.000.000	1	5.000.000
	Costo Directo			318.954.735
	Gastos Generales y Utilidades: 45%			143.529.631
	Contingencia 15%			47.843.210
	Costo Total			510.327.577

Nota: Moneda del 1 de Abril 2012 (UF = 22.536,41; Dólar = U$ 487,44)

Fuente: Elaboración propia

13.2. EXPROPIACIONES

A continuación, se describen en mayor detalle 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.

13.2.1. Tenencia de la Tierra en Zonas de Expropiación

A continuación se describen los aspectos específicos sobre tenencia de la tierra en la zona de expropiación que contemplaría una eventual construcción de la obra. La zona de expropiación en su totalidad está compuesta por:

- **Zona de Inundación**. Esta zona corresponde a aquella que quedaría bajo el agua, y está definida por la cota de coronamiento del embalse. Al área de inundación calculada se le agrega un 5% para obtener un valor conservador. Las áreas obtenidas se presentan en el Cuadro 13.2.1-1. La propiedad a expropiar corresponde al sector denominado "ITIZA y UMIRPA" cuyos deslindes son:
  - **Al Norte**: con cerros de Remedios
  - **Al Sur**: con pastales llamados Turnire
  - **Al Este**: con Apacheta de Arcotenco

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

- **Al Oeste:** con pastales de Gabriela Mamani, que comprende las estancias llamadas Orcotunco, Itiza, Huaycara, Todopacheta, Ventarane y Patane.

CUADRO 13.2.1-1
ÁREA ZONA DE INUNDACIÓN

Loteo	N° Rol de Avalúo según SII	Nombre del Propietario Según SII	Nombre Propietario Aparente	Comuna	Dirección o Nombre de la Propiedad	Superficie Total Expropiación (ha)
1	Sin Rol	Sin Información	Ceferino Choque García Isidro Castro Challapa	Putre	Umirpa	238,20

Fuente: Elaboración propia

- **Obras en zona del muro.** Este sector incluye toda la zona del muro, su proyección hacia aguas abajo del eje, las obras de descarga del vertedero, la minicentral y la instalación de faenas. El área a expropiar es de 0,54 ha y corresponde a la propiedad ITIZA y UMIRPA.

CUADRO 13.2.1-2
ZONA MURO Y OBRAS ANEXAS

Loteo	N° Rol de Avalúo según SII	Nombre del Propietario Según SII	Nombre Propietario Aparente	Comuna	Dirección o Nombre de la Propiedad	Superficie Total Expropiación (ha)
1	sin Rol	Sin Información	Ceferino Choque García Isidro Castro Challapa	Putre	Umirpa	0,54

Fuente: Elaboración propia

- **Conducción Ofragía-Chaca.** Corresponde a una franja de 3 m de ancho por donde se desarrollaría la conducción Ofragía-Chaca. En dicho tramo existen varias propiedades que serían atravesadas por la conducción. En el Cuadro 13.1.2-3 se presentan los datos de las propiedades que estarían afectas a expropiación.

CUADRO 13.2.1-3
LISTADO DE PROPIEDADES EN TRAMO CONDUCCIÓN TUBERÍA

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)
1	4700-49	Yucao Choque Julio	Julio Yucao Choque	Camarones	Cachicoca	0,044
2	4700-15	Alida Caqueo Malavia y Otro	Malavia Alida C	Camarones	Cahicoca Valle Codpa	0,023
3	SR	Sin Información				0,048
4	SR	Sin Información				0,022
5	4700-60	Ponce Valdivia Benjamín	Benjamín Ponce Valdivia	Camarones	Cachicoca	0,036
6	4700-49	Yucao Choque Julio	Julio Yucao Choque	Camarones	Cachicoca	0,026
7	SR	Sin Información			Pintatani	5,287
8	SR	Sin Información			Chaqui	2,371
9	SR	Sin Información			Calaunsa	1,011
10	SR	Sin Información			Pintatani	0,042
11	5100-17	Nevermann Escvola Elard	Elard Nevermann	Arica	Cadena y Campana LT 1 Y 6 V de Chaca	0,080
12	5100-16	Dogue Investment Company S.A	Dogue Investment Company S.A.	Arica	Hda. Andacollo	0,487
13	4700-15	Alida Caqueo Malavia y Otro	Malavia Alida C	Camarones	Cahicoca Valle Codpa	0,021
14	SR	Sin Información				0,024
15	4710-54	Valdés Caqueo Jose	Jose Valdés C.	Camarones	Santa Rosa Codpa	0,054
16	SR	Sin Información				0,066
17	4700-15	Alida Caqueo Malavia y Otro	Malavia Alida C	Camarones	Cahicoca Valle Codpa	0,106
18	4700-15	Alida Caqueo Malavia y Otro	Malavia Alida C	Camarones	Cahicoca Valle Codpa	0,064

Fuente: Elaboración propia

- **Variante del camino**. Corresponde a una franja de 15 m de ancho (ancho determinado de acuerdo al Manual de Carreteras, para la categoría de "Camino de Desarrollo"), correspondiente al nuevo trazado del camino ruta regional primaria A-319, ya que éste quedaría inundado por el embalse. El área a expropiar es de 0,61 ha y corresponde a la propiedad ITIZA y UMIRPA.

- **Camino de Acceso**. Corresponde a una franja de 15 m de ancho correspondiente al nuevo trazado del camino de acceso al pie del muro. El área a expropiar es de 2,41 ha y corresponde a la propiedad ITIZA y UMIRPA.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 13.2.1-4
VARIANTE CAMINO A-319 Y ACCESO ZONA MURO

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)
1	Sin Rol	Sin Información	Ceferino Choque García Isidro Castro Challapa	Putre	Umirpa	0,83
2	Sin Rol	Sin Información	Ceferino Choque García Isidro Castro Challapa	Putre	Umirpa	1,58

Fuente: Elaboración propia

13.2.2. Costo de Expropiación

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 Abril de 2012 se obtuvo un valor de 4.726.695 $/ha. Finalmente, se aproximó a 4.800.000 $/ha, el cual se consideró como valor final.

En el Cuadro 13.2.2-1 se presenta el área a expropiar asociada a cada una de las alternativas en la zona de embalse. En dicho cuadro también se incluye el costo de la expropiación. Lo mismo se incluye en el Cuadro 13.2.2-2 pero de la zona por donde se proyecta la conducción Ofragía-Chaca.

CUADRO 13.2.2-1
COSTOS DE EXPROPIACIONES SECTOR DE EMBALSE

Capacidad	Altura de Muro (m)	Superficie Inundación (ha)	Obras Zona de Muro (ha)	Superficie Caminos (ha)	Total (ha)	Costo ($)	Costo (UF)	Costo (U$)
Mínima	21,1	187,66	0,54	2.28	190.48	914.304.000	40.570	1.875.726
Media	24,5	238,20	0,54	2.28	241,02	1.156.896.000	51.334	2.373.412
Máxima	29,1	312,37	0,54	2.28	315,19	1.512.912.000	67.132	3.103.791

Nota: Moneda del 1 de Abril 2012 (UF = 22.536,41; Dólar = U$ 487,44)

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 13.2.2-2
COSTOS DE EXPROPIACIONES SECTOR CONDUCCIÓN OFRAGÍA-CHACA

Conducción Ofragía-Chaca (ha)	Costo ($)	Costo (UF)	Costo (U$)
9,81	$ 47.101.070	2.090	96.629

Nota: Moneda del 1 de Abril 2012 (UF = 22.536,41; Dólar = U$ 487,44)

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

14. ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL

14.1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo corresponde a un resumen del Estudio de Análisis Ambiental (EAA) de la presente consultoría.

14.2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL EAA

14.2.1. Objetivo General

Analizar a nivel de prefactibilidad y desde la perspectiva ambiental, los efectos o implicancias de las obras sobre el medio ambiente enfocados en la Alternativa escogida durante la consultoría, incluyendo análisis legal, descripción y evaluación de impactos potenciales preliminares, y la estimación de los costos ambientales asociados.

14.3. 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. **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.

7. **Descripción del marco legal y ambiental aplicable:** con base en el marco legal, se analiza la normativa ambiental general y específica aplicable al

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

proyecto. Estas normas se asocian a las obras y acciones que se definen para el proyecto.

8. **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.

9. **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.

10. **Conclusiones:** Se presentan conclusiones del EAA.

14.4. RESULTADOS PRINCIPALES DEL ESTUDIO

14.4.1. Análisis de Pertinencia de Ingreso al SEIA

Se concluye que el proyecto debe ingresar al SEIA según lo señalado en la letra b) del 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.

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 m y p) 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.

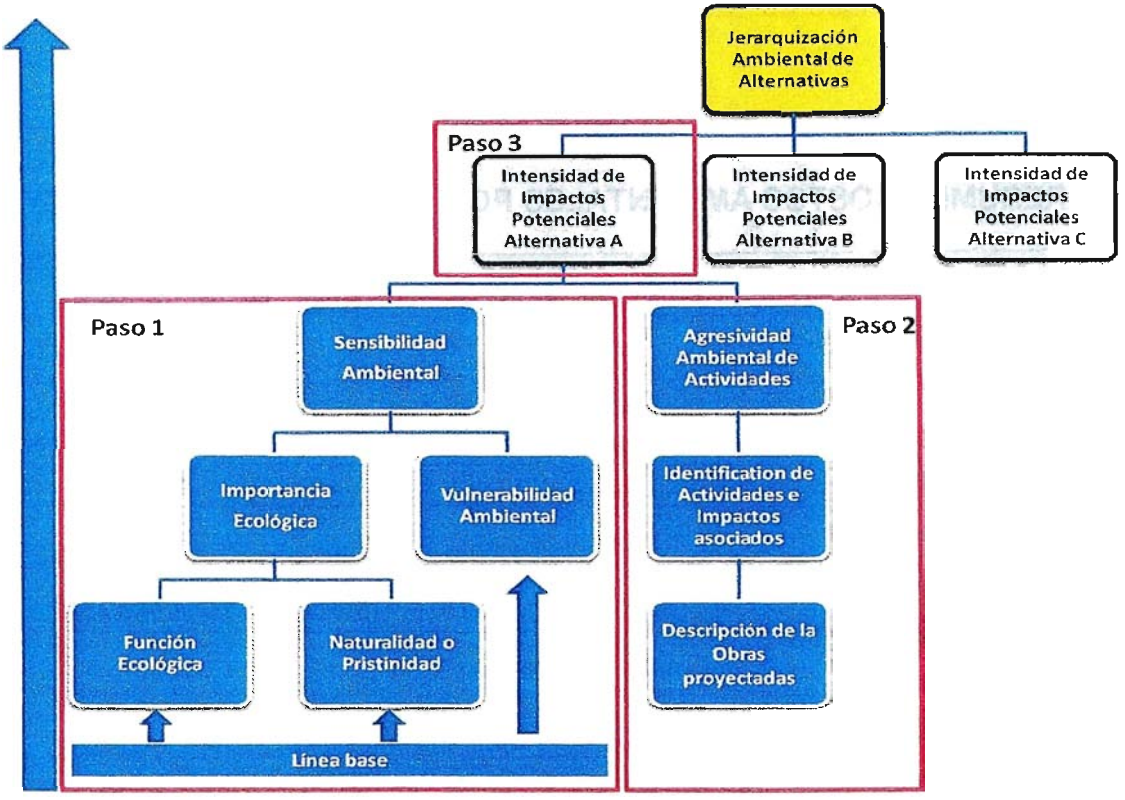
14.4.2. Evaluación de Impactos Ambientales

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 14.4.2-1 muestra un esquema de la metodología empleada y el Cuadro 14.4.2-1 muestra el resultado final de dichos cálculos.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 14.4.2-1
ESQUEMA MÉTODO EAA



Fuente: Elaboración propia

CUADRO 14.4.2-1
INTENSIDAD DE IMPACTOS POR COMPONENTES

Componente	Impacto Ambiental	Intensidad de Impacto
Flora y Vegetación terrestre	Alteración y/o destrucción de hábitat de especies de flora	4,16
	Pérdida de Vegetación	
Fauna Terrestre	Alteración y/o destrucción de hábitat de especies de fauna	4,16
	Pérdida de ejemplares de fauna terrestre con problemas de conservación	
Flora y Fauna Acuática	Alteración y/o destrucción de hábitat de especies de flora y fauna acuática	3,91
	Pérdida de ejemplares de fauna acuática con problemas de conservación	
Hidrología	Alteración del régimen hidrológico y sedimentológico del río	3,91
Asentamientos Humanos	Alteración del sistema de vida, tradiciones y costumbres	3,66
Patrimonio Arqueológico	Pérdida de patrimonio arqueológico	3,16
Calidad de Aguas	Alteración de la calidad de las aguas	3,91

Fuente: Elaboración propia

14.4.3. Costos Ambientales Asociados al Proyecto

El Cuadro 14.4.3-1 muestra el resumen de los costos asociados según tipo de medida. El cuadro detallado de cada medida propuesta se encuentra en el Apartado 11 del informe EAA.

CUADRO 14.4.3-1.

RESUMEN COSTOS AMBIENTALES POR TIPO DE MEDIDA (PESOS)

Tipo de Medida o Plan	Año 0 (Construcción)	Año 1 (Operación)	Total
Monitoreo	277.030.356	187.231.213	464.261.569
Mitigación	245.918.695	30.120.129	276.038.824
Reparación	47.892.876	0	47.892.876
Plan de Seguimiento	161.638.457	161.638.457	323.276.915
Componentes no Analizados	81.567.555	81.567.555	163.135.110
Sub Total	**814.047.940**	**460.557.355**	**1.274.605.294**
Total general (+30% de imprevistos y otros)	**1.058.262.321**	**598.724.561**	**1.656.986.882**

Fuente: Elaboración propia

14.4.4. Estudios Recomendados para Etapas Posteriores

A continuación se enlistan aquellos estudios que, se propone, deben realizarse para una eventual etapa de Factibilidad.

- Línea de base de fauna terrestre (levantamiento en terreno) asociada a las zonas incluidas dentro del área de influencia directa del componente. Incluye la identificación de las especies presentes y potenciales en el área a través de métodos directos, indirectos y consulta a lugareños (debe considerar trampeo y/o avistamiento según corresponda). Se debe conocer su distribución, abundancia y grado de conservación. Debe incluir mamíferos, aves, anfibios y reptiles.

- Línea de base de flora y vegetación terrestre (levantamiento de información en terreno) asociada a las zonas incluidas dentro del área de influencia directa del componente. Se deberá realizar un análisis descriptivo de la vegetación y de especies de flora existentes, señalando su densidad, distribución, diversidad, abundancia relativa y su estado de conservación cuando corresponda.

- Línea de base de Flora y Fauna acuática. Se deben determinar las especies de flora y fauna acuática existentes en el área de influencia, a partir de reconocimiento de terreno. Este levantamiento debe permitir reconocer la abundancia de peces y flora acuática, y de ser pertinente, macro y microinvertebrados.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

- Línea de base del patrimonio arqueológico y cultural en profundidad (levantamiento de información en terreno) en las zonas incluidas dentro del área de influencia directa del componente. Se identificará, a través de inspección detallada, las áreas protegidas o sitios de interés de cualquier índole, monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico o perteneciente al patrimonio cultural.

- Estudio de calidad de aguas. Debe conocerse en mayor nivel de detalle la calidad de las aguas y su variación en las distintas épocas del año, siendo necesario un mayor número de muestreos en el punto específico de la alternativa seleccionada. Los parámetros a analizar deben ser aquellos estipulados en la NCh. 1333 para los estándares de riego y vida acuática.

Estudio para la determinación de un caudal ecológico, idealmente basado en criterios tanto biológicos, físicos (geomorfología fluvial) como hidrológicos.

14.4.5. Conclusiones

Respecto de la alternativa estudiada, esta resultó ser la menos favorable desde la perspectiva ambiental, pero la más atractiva desde el punto de vista técnico, lo cual deja un menor margen de acción en lo que a minimización de impactos se refiera ya que la ubicación es primordial en este sentido. Sin embargo, también se debe tener en cuenta que la obra sólo puede ser construida en los lugares técnicamente factibles. Todo esto da pie a una la discusión sobre cómo ponderar adecuadamente el factor ambiental con el técnico, que debiera llevarse a cabo en los ámbitos de planificación y formulación de políticas.

Respecto del análisis de pertinencia de ingreso al SEIA, se concluye, como era de esperarse, que el proyecto deberá someterse al SEIA como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), ya que es sabido que el tipo de obra estudiada en el presente Proyecto genera impactos ambientales relevantes e irreversibles 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 m y p) del Reglamento del SEIA.

Los componentes más afectados serían Flora, Vegetación y Fauna terrestre, lo cual resulta esperable a la luz de los antecedentes del medio biótico levantados en terreno (especies endémicas y con estados de conservación) y al tipo de obra. Debe tenerse en cuenta que la evaluación acá efectuada es de carácter relativa, es decir los valores obtenidos no son comparables con otros estudios de otros sectores ni con otro tipo de proyectos, por lo cual el presente análisis sólo permite dar relevancia a aquellos componentes que podrían verse más afectados y dirigir los esfuerzos a minimizar estos impactos mediante los planes de manejo ambiental.

Respecto de los costos estimados para las medidas ambientales, se estimado un monto preliminar de 1.657 millones de pesos, valor que se reparte en dos años y que es considerado además dentro de la evaluación económica del proyecto. Gran parte del monto

es explicado por la lejanía y accesibilidad de la zona de estudio ya que en estricto rigor la obra es pequeña si se compara con otros embalses, con un muro de 29.600 m^3 en comparación con otros muros con volúmenes superiores al millón de m^3.

Es necesario tener en cuenta que las medidas costeadas corresponden a medidas sugeridas a priori, y que las medidas de mitigación, reparación y/o compensación definitivas deben ser obtenidas como resultado de la realización del Estudio de Impacto Ambiental que es pertinente a este proyecto.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

15. EVALUACIÓN ECONÓMICA

15.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la evaluación económica del proyecto, considerándose los costos y los beneficios derivados de la construcción del embalse. El análisis incluye el cálculo de los indicadores para diferentes alternativas de diseño y tamaño de embalse, para luego desarrollar un análisis de sensibilidad de los aspectos más relevantes de la evaluación. Las metodologías de análisis y cálculo utilizadas se desprenden de 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).

15.2. INDICADORES DE RENTABILIDAD

Los indicadores de rentabilidad determinados corresponden al Valor Actual Neto (VAN), VAN/Superficie de riego (VAN/sup), Tasa Interna de Retorno (TIR), IVAN (VAN/Inversión), la Inversión/Superficie de riego (Inv/sup) y razón n/k que es la razón entre los flujos positivos y los flujos negativos. Estos indicadores son comúnmente utilizados en este tipo de evaluación. 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 : Inversión inicial
O_i : Operación y mantención anual al año i
I_i : Inversión anual (durante el período de construcción)
r : Tasa de descuento

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Por otra parte, la TIR se calcula como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero:

$$\sum_{i=1}^{30}\left[\frac{B_i - O_i - I_i}{(1+Tir)^i}\right] - I = 0$$

Adicionalmente el IVAN se calcula como la razón entre el VAN calculado anteriormente y la inversión actualizada (I_{act}), la cual está dad por:

$$I_{act} = \sum_{i=1}^{30}\left[\frac{I_i}{(1+r)^i}\right] + I$$

Los parámetros básicos de ingreso para el cálculo de estos indicadores son los costos de inversión y mantenimiento, el beneficio anual esperado y la tasa de descuento, la que según el Ministerio de Desarrollo Social es de 6% a precios sociales para el proceso presupuestario 2012. A precios privados se considera una tasa de descuento del 12%, basándose en los requerimientos de la CNR. Se consideró como horizonte de evaluación un período de 30 años.

Debe hacerse notar que no se incluyen impuestos de ningún tipo.

La Unidad de Fomento (U.F.) utilizada está referida al 1 de Abril de 2012, fecha en que tenía el valor de $ 22.536,41. Por su parte, el dólar se consideró igual a $ 487,44.

15.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN

La evaluación económica se realiza con tres métodos:

1. **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 del área de estudio. 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 partir de la utilización del agua en los escenarios Con y Sin Proyecto.

2. **Método del Valor Incremental de la Tierra:** Este método se basa en el enfoque de precios hedónicos, en el cual el precio de un bien se debe a una serie de atributos 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 se analizan las

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

características que varían, incrementando el valor de la tierra, lo que se asume que correspondería a su beneficio.

3. **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 chequeo al método del presupuesto, el cual determina la rentabilidad directa del proyecto.

15.4. ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

Para realizar la evaluación económica se definieron cinco escenarios de evaluación:

Con el fin de realizar la evaluación mediante el método del presupuesto, a priori se definen 3 escenarios de evaluación:

1. Escenario base: Corresponde a la Situación Sin Proyecto
2. Escenario 2: Corresponde a la Situación Con Proyecto sin contemplar el proyecto de conducción para el tramo Ofragía – Chaca.
3. Escenario 3: Corresponde a la Situación Con Proyecto contemplando el proyecto de conducción para el tramo Ofragía – Chaca.

Los escenarios 2 y 3 se analizarán para un proyecto multipropósito de riego, agua potable, generación hidroeléctrica y control de crecidas.

Con el fin de desarrollar la evaluación, se presenta en el Acápite 15.6 los costos y en el Acápite 15.7 los beneficios a considerar.

15.5. TAMAÑOS DE EMBALSE A EVALUAR

Obtenidas las capacidades de embalse necesarias para satisfacer la demanda del área productiva futura máxima en los escenarios con proyecto (Escenario 2 y 3 con Volumen Umbral igual a 18,1 hm^3), se realizó el análisis para 6 nuevas capacidades de embalse con el fin de contabilizar y generar una curva de beneficios asociada a una incorporación de área productiva menor a la máxima.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Esta variación de capacidades tiene como objetivo final la obtención del óptimo económico del proyecto. En el Cuadro 1-1 se incluyen las nuevas capacidades o tamaños a evaluar.

CUADRO 15.5-1
TAMAÑOS DE EMBALSE A EVALUAR
ESCENARIOS 2 Y 3

Volumen Umbral (hm3)	Volumen Útil (hm3)
6,9	4,1
8,0	5,2
10,0	7,2
12,0	9,2
12,6	9,8
14,0	11,2
18,1	15,3

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de los nuevos tamaños se calcularon los costos y beneficios asociados a las distintas alternativas en los escenarios de proyecto 2 y 3.

15.6. COSTOS

15.6.1. Introducción

Los costos considerados en el análisis económico son los siguientes:

- Obras de riego, en este caso el muro de embalse y el mejoramiento de canales
- Costos de operación y mantenimiento de las obras de riego.
- Conducción Tramo Ofragía – Chaca, para el escenario 3.
- Bombeo en el sector de Chaca, para el escenario 2.
- Variante camino ruta regional primaria A-319.
- Expropiaciones.
- Estudio y mitigación de impacto ambiental

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

15.6.2. Costo de las Obras de Riego

En el Cuadro 15.6.2-1 se presenta el resumen de los costos directos de las principales obras físicas del proyecto, tanto a precios privados como sociales (sin IVA). También se presentan los costos totales, los que incluyen los gastos generales, utilidades e imprevistos (45%), además de las contingencias (15%). El detalle de la determinación de los costos se incluye en el Anexo 15-1.

CUADRO 15.6.2-1
RESUMEN PRESUPUESTO OBRAS PROPUESTAS

Capacidad	Volumen Coronamiento	Costo Directo ($)		Total ($)	
	hm3	Privado	Social	Privado	Social
Cap. 6.9	11,20	4.261.163.959	3.657.812.253	6.817.862.334	5.852.499.605
Cap. 8.0	12,62	4.385.647.009	3.757.157.803	7.017.035.215	6.011.452.485
Cap. 10.0	15,10	4.604.724.995	3.931.996.249	7.367.559.993	6.291.193.998
Cap. 12.0	17,52	4.817.785.050	4.102.031.995	7.708.456.081	6.563.251.192
Cap. 12.6	18,23	4.880.957.781	4.152.447.933	7.809.532.450	6.643.916.692
Cap. 14.0	19,90	5.027.528.827	4.269.421.136	8.044.046.123	6.831.073.818
Cap. 18.1	24,74	5.454.868.637	4.610.466.029	8.727.789.819	7.376.745.646

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

15.6.3. Costos Conducción Tramo Ofragía – Chaca

Para el escenario 3, se recalcularon las dimensiones y costos de la conducción en el tramo Ofragía-Chaca para cada capacidad de embalse. Esto debido a que al evaluar capacidades menores de embalse, se disminuyó el área productiva del sector de Chaca (sector S-3) y el sector S-2A, y por ende el volumen de agua necesaria para satisfacer la demanda de riego con un 85% de seguridad. Lo anterior se refleja en los costos para cada uno de los tamaños de embalse (Cuadro 15.6.3-1) e incluyen los gastos generales, utilidades e imprevistos (45%), además de las contingencias (15%). El detalle de la determinación de los costos se incluye en el Anexo 15-1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 15.6.3-1
COSTOS CONDUCCIÓN TRAMO OFRAGÍA – CHACA

Capacidad	Total ($)	
	Privado	Social
Cap. 6.9	3.049.768.827	2.964.500.944
Cap. 8.0	3.096.017.768	3.009.961.331
Cap. 10.0	3.297.295.437	3.207.676.159
Cap. 12.0	3.432.878.706	3.340.868.442
Cap. 12.6	3.508.780.658	3.415.424.312
Cap. 14.0	3.508.780.658	3.415.424.312
Cap. 18.1	3.595.768.765	3.500.644.351

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración Propia

15.6.4. Costos de Operación y Mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento del embalse se estimaron iguales al 0,5% del costo directo asociado a la obra. En el caso de la conducción Ofragía – Chaca, el costo se estimó como el 1,5% de sus costos directos.

En el Cuadro 15.6.4-1 se presentan los costos de operación y mantenimiento tanto para el embalse como para la obra de conducción en el tramo Ofragía – Chaca.

CUADRO 15.6.4-1
COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Capacidad	Costo operación Anual ($)					
	Embalse		Conducción Ofragía - Chaca		Total *	
	Privado	Social	Privado	Social	Privado	Social
Cap. 6.9	21.305.820	18.289.061	28.591.583	27.792.196	49.897.403	46.081.258
Cap. 8.0	21.928.235	18.785.789	29.025.167	28.218.387	50.953.402	47.004.176
Cap. 10.0	23.023.625	19.659.981	30.912.145	30.071.964	53.935.770	49.731.945
Cap. 12.0	24.088.925	20.510.160	32.183.238	31.320.642	56.272.163	51.830.802
Cap. 12.6	24.404.789	20.762.240	32.894.819	32.019.603	57.299.608	52.781.843
Cap. 14.0	25.137.644	21.347.106	32.894.819	32.019.603	58.032.463	53.366.709
Cap. 18.1	27.274.343	23.052.330	33.710.332	32.818.541	60.984.675	55.870.871

* Costo Operacional en Escenario 2 Solo contempla el embalse
Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

15.6.5. Costos Bombeo en el Sector de Chaca

Se ha estimado el costo de extracción de agua subterránea del acuífero de Chaca, contemplado en el escenario 2, para cada una de las capacidades analizadas.

Se consideró una curva de incorporación del área productiva, según lo indicado por el estudio agroeconómico, de duración promedio igual a 6 años, lo que se refleja en los costos de ese periodo, luego del cual los costos se estabilizan hasta el año 30 (Cuadro 15.6.5-1). El desarrollo de la determinación de los costos por bombeo se incluye en el Anexo 15-1.

CUADRO 15.6.5-1
FLUJOS COSTOS POR BOMBEO SEGÚN CAPACIDAD DE EMBALSE

Año	Costo Bombeo por Capacidad de Embalse ($)						
	(6,9 hm^3)	(8,0 hm^3)	(10,0 hm^3)	(12,0 hm^3)	(12,6 hm^3)	(14,0 hm^3)	(18,1 hm^3)
1	2.620.872	3.636.163	5.343.698	6.451.289	6.792.796	7.595.799	9.229.495
2	2.948.481	4.090.683	6.011.660	7.257.700	7.641.895	8.545.274	10.383.181
3	5.896.961	8.181.367	12.023.321	14.515.399	15.283.790	17.090.547	20.766.363
4	9.828.269	13.635.611	20.038.868	24.192.332	25.472.984	28.484.245	34.610.605
5	13.104.358	18.180.815	26.718.491	32.256.443	33.963.978	37.978.994	46.147.473
6	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
7	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
8	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
9	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
10	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
11	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
12	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
13	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
14	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
15	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
16	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
17	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
18	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
19	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
20	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
21	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
22	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
23	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
24	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
25	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
26	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
27	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
28	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
29	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342
30	16.380.448	22.726.018	33.398.114	40.320.554	42.454.973	47.473.742	57.684.342

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
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

15.6.6. Costos de Variante de Camino

El área de inundación del embalse afectaría parte de la ruta regional primaria A-319 existente que permite el acceso al Salar de Surire. Por ello se valorizó un trazado alternativo a una cota mayor que la de inundación. Al evaluar diferentes capacidades de embalse el costo varía, según se muestra en el Cuadro 15.6.6-1, incluyendo los gastos generales, utilidades e imprevistos (45%), además de las contingencias (15%).

CUADRO 15.6.6-1
COSTOS VARIANTE CAMINO

Capacidad	Costo Total ($)	
	Privado	Social
Cap. 6.9	286.552.914	256.361.619
Cap. 8.0	409.832.652	366.279.533
Cap. 10.0	539.288.730	481.704.356
Cap. 12.0	689.620.835	615.742.534
Cap. 12.6	749.901.909	669.489.971
Cap. 14.0	869.722.896	776.324.015
Cap. 18.1	1.066.624.602	951.884.291

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración Propia

15.6.7. Expropiaciones

Las expropiaciones de la zona de embalse están asociadas al área de inundación de su cota de coronamiento. Además, esta cota tiene efecto sobre el largo de las variantes de camino y por ende la superficie a expropiar. En el Cuadro 15.6.7-1 se incluyen los costos según la capacidad de embalse evaluado. Se consideró un valor por hectárea de terreno de $4.800.000, el que se calculó a partir de avisos en la Revista del Campo y clasificados del diario El Mercurio recopilados por ODEPA.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.6.7-1
RESUMEN EXPROPIACIONES ZONA DE INUNDACIÓN

Capacidad	Superficie Expropiada (ha)	Costo ($)
Cap. 6.9	190,7	915.442.184
Cap. 8.0	203,4	976.183.060
Cap. 10.0	221,2	1.061.943.815
Cap. 12.0	238,0	1.142.632.601
Cap. 12.6	242,5	1.164.193.832
Cap. 14.0	253,4	1.216.391.666
Cap. 18.1	284,0	1.363.245.675

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración Propia

Además, en el Cuadro 15.6.7-2 se incluyen las expropiaciones asociadas a la conducción Ofragía-Chaca proyectada en el escenario 3. El desarrollo de los cálculos se incluye en el Anexo 15-2.

CUADRO 15.6.7-2
COSTOS DE EXPROPIACIONES
SECTOR CONDUCCIÓN TRAMO OFRAGÍA-CHACA

Conducción Ofragía-Chaca (ha)	Costo ($)
9,81	$ 47.101.070

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

15.6.8. Costos Ambientales

Tal como se indica en el Estudio de Análisis Ambiental, los costos ambientales se han estimado considerando medidas de mitigación, reparación y/o compensación y planes o programas tentativos propuestas a priori. En este caso los costos para los escenarios 2 y 3 son idénticos, por lo que se considera que su valor cambia solo en función del tamaño de embalse. Esta información se presenta en el Cuadro 15.6.8-1 para la etapa de construcción y operación del embalse.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 15.6.8-1
RESUMEN COSTOS AMBIENTALES

Capacidad	Año 0 (construcción)	Año 1 (operación)
Cap. 6.9	472.066.990	267.077.544
Cap. 8.0	528.075.488	298.765.021
Cap. 10.0	622.673.944	352.285.229
Cap. 12.0	722.080.447	408.525.646
Cap. 12.6	751.501.173	425.170.773
Cap. 14.0	824.689.708	466.578.062
Cap. 18.1	1.058.262.321	598.724.561

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

15.7. BENEFICIOS

15.7.1. Generalidades

En esta sección se presentan y describen brevemente los beneficios considerados para la evaluación, los cuales pueden resumir en los siguientes ámbitos:

- Riego.
- Suministro de Agua Potable.
- Generación Hidroeléctrica
- Control de Crecidas (Daño Evitado).
- Valor Incremental de la Tierra: para el método de evaluación respectivo.
- Incremento de las Transacciones de Derechos de Aguas: para el método de evaluación respectivo.

15.7.2. Beneficios Derivados del Riego

Uno de los beneficios de la construcción de un embalse 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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

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 el aumento de superficie con 85% de seguridad de riego, tal como lo muestra el Cuadro 15.7.2-1 para el escenario 2 (sin conducción en el tramo Ofragía – Chaca) y el Cuadro 15.7.2-2 para el escenario 3. En este caso la diferencia radica que en el escenario 2 el sector 2-A no tiene seguridad de riego con recursos superficiales. Las áreas se obtuvieron a partir del modelo de simulación generado para el presente proyecto.

CUADRO 15.7.2-1
SUPERFICIES DE RIEGO SEGÚN CAPACIDADES DE EMBALSE ESCENARIO 2

Volumen Umbral	Volumen Útil	Sectores de Riego (ha)					Total Área
(hm3)	(hm3)	S-1	S-2	S-2A	S-3	TOTAL	85% Seguridad (ha)
6,9	4,1	34,2	38,7	11,9	174,7	259,5	247,6
8,0	5,2	39,5	53,7	16,5	201,0	310,7	294,1
10,0	7,2	48,4	78,9	24,3	245,1	396,6	372,3
12,0	9,2	54,1	95,2	29,4	273,7	452,4	423,1
12,6	9,8	55,9	100,3	30,9	282,5	469,6	438,7
14,0	11,2	60,1	112,1	34,6	303,3	510,1	475,5
18,1	15,3	68,6	136,2	42,0	345,5	592,3	550,3

NOTA: (1): Excepto sector 2-A, que no tiene seguridad de riego.
Fuente: elaboración Propia

CUADRO 15.7.2-2
SUPERFICIES DE RIEGO SEGÚN CAPACIDADES DE EMBALSE ESCENARIO 3

Volumen Umbral	Volumen Útil	Sectores de Riego (ha)					Total Área
(hm3)	(hm3)	S-1	S-2	S-2A	S-3	TOTAL	85% Seguridad (ha)
6,9	4,1	34,1	38,4	11,8	174,2	258,6	258,6
8,0	5,2	38,3	50,4	15,5	195,2	299,5	299,5
10,0	7,2	47,7	76,8	23,7	241,5	389,7	389,7
12,0	9,2	52,9	91,8	28,3	267,7	440,8	440,8
12,6	9,8	53,2	92,5	28,5	268,9	443,1	443,1
14,0	11,2	55,9	100,3	30,9	282,5	469,6	469,6
18,1	15,3	68,6	136,2	42,0	345,5	592,3	592,3

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo de simulación

Los márgenes netos de los escenarios Con y Sin Proyecto consideran los márgenes brutos obtenidos para cada cultivo en la superficie de riego menos los costos

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

indirectos y gastos generales, inversión en riego tecnificado y asistencia técnica. Además, en la Situación Futura Con Proyecto se consideran costos por habilitación de terrenos, debido al cambio de la estructura productiva del suelo. Lo anterior primero se obtiene a nivel de cada predio promedio evaluado, valores que luego son expandidos para cada tipo de predio, sector y el total del área de estudio.

Los costos indirectos y gastos generales corresponden a los que los agricultores incurren para abordar ítem de administración, contribuciones, contabilidad, mantención de infraestructura, limpia de canales y electricidad, entre otros.

Los costos relacionados con la incorporación de sistemas tecnificados de riego (presurizado) se aplican a una proporción de terrenos que en Situación Actual utilizan métodos tradicionales. Lo anterior, contribuye para que se pueda alcanzar la superficie productiva planteada con la seguridad de riego y los rendimientos esperados, considerando la capacidad de los productores de realizar dichas modificaciones con proyecto. Estos costos incluyen la inversión en el sistema de riego y la mantención anual.

También, se ha considerado un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica distinto dependiendo del mejoramiento o no de las obras. En cada situación el programa contribuye a aumentar la adopción de tecnologías pertinentes, las cuales permitan potenciar el rendimiento de los cultivos y optimizar el uso de los recursos productivos. Los costos de este programa contemplan la contratación de personal técnico permanente, asesores e insumos físicos para llevar a cabo esta labor.

Además se ha considerado un costo de habilitación de terrenos en cuanto a despedradura, nivelación, reconstrucción del terreno y acondicionamiento del suelo en general para la implementación de nuevas plantaciones de frutales.

Finalmente se han estimado costos de inversión y administración de las organizaciones de usuarios conformadas.

Los valores de los flujos agroeconómicos de la Situación Sin Proyecto y la Situación Con Proyecto para un horizonte de 30 años se presentan en los Cuadros 15.7.2-3 y 15.7.2-4 para el escenario 2 y en los Cuadros 15.7.2-5 y 15.7.2-6 para el escenario 3, tanto a precios de mercado como sociales. Finalmente, los flujos netos se presentan en los Cuadros 15.7.2-7 y 15.7.2-8

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.7.2-3
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 2 – PRECIOS DE MERCADO

Año	Situación Sin Proyecto ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 6,9 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	337.353.979	58.371.227	0	0	26.418.322	0	252.564.430	163.172.120	58.371.227	0	0	26.418.322	0	78.382.571
2	338.546.007	58.371.227	23.558.923	0	26.418.322	0	230.197.535	163.172.120	58.371.227	0	0	26.418.322	0	78.382.571
3	340.928.928	58.371.227	21.977.407	0	26.418.322	0	234.161.972	163.172.120	58.371.227	14.296.851	0	26.418.322	0	64.085.719
4	344.503.315	58.371.227	21.977.407	0	26.418.322	0	237.736.359	194.136.764	59.376.937	11.933.065	19.981.991	52.135.503	12.528.106	38.181.162
5	358.890.048	58.371.227	21.977.407	0	26.418.322	0	252.123.092	279.630.757	61.388.363	11.927.151	39.963.937	94.639.518	6.851.785	64.860.001
6	355.249.182	58.371.227	21.977.407	0	26.418.322	0	248.482.226	423.582.650	64.405.512	11.916.938	59.945.913	140.871.384	6.851.785	139.591.118
7	355.505.078	58.371.227	21.977.407	0	26.418.322	0	248.738.122	630.745.331	68.428.371	11.922.307	79.927.898	190.831.154	6.851.785	272.783.816
8	345.791.989	58.371.227	0	0	26.418.322	0	261.002.440	767.901.929	68.084.637	11.927.884	16.914.067	52.124.948	6.851.785	611.998.610
9	116.559.822	58.371.227	0	0	26.418.322	0	31.770.273	835.933.054	67.740.886	0	16.914.067	52.278.122	12.109.896	686.890.084
10	350.520.476	58.371.227	0	0	26.418.322	0	265.730.927	887.617.267	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	762.080.032
11	363.061.015	58.371.227	0	0	26.418.322	0	278.271.465	928.016.801	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	802.479.566
12	361.488.195	58.371.227	0	0	26.418.322	0	276.698.645	957.776.689	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	832.239.454
13	347.356.236	58.371.227	0	0	26.418.322	0	262.566.687	972.858.197	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	847.320.962
14	230.697.819	58.371.227	0	0	26.418.322	0	145.908.270	988.715.285	67.740.886	0	0	50.944.564	12.109.896	857.919.939
15	317.320.565	58.371.227	0	0	26.418.322	0	232.531.016	1.000.954.310	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	875.417.075
16	295.562.785	58.371.227	0	0	26.418.322	0	210.773.236	1.005.445.519	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	879.908.284
17	310.338.780	58.371.227	0	0	26.418.322	0	225.549.231	1.011.633.513	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	886.096.278
18	288.018.231	58.371.227	0	0	26.418.322	0	203.228.682	1.019.127.457	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	893.590.222
19	323.154.335	58.371.227	0	0	26.418.322	0	238.364.786	1.025.931.499	67.740.886	0	0	50.944.564	12.528.106	894.717.943
20	312.579.701	58.371.227	0	0	26.418.322	0	227.790.152	1.022.845.540	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	897.308.305
21	86.598.812	58.371.227	0	0	273.469.536	0	-245.241.951	1.016.577.008	67.740.886	0	0	175.875.013	6.851.785	766.109.324
22	339.056.668	58.371.227	0	0	26.418.322	0	254.267.119	1.009.054.106	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	883.516.871
23	338.820.876	58.371.227	0	0	26.418.322	0	254.031.327	1.015.885.944	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	890.348.709
24	340.407.560	58.371.227	0	0	26.418.322	0	255.618.011	1.018.231.861	67.740.886	0	0	52.135.503	12.109.896	886.245.577
25	355.885.336	58.371.227	0	0	26.418.322	0	271.095.787	1.021.414.508	67.740.886	0	0	94.639.518	6.851.785	852.182.319
26	365.433.816	58.371.227	0	0	26.418.322	0	280.644.267	1.023.015.170	67.740.886	0	0	140.871.384	6.851.785	807.551.115
27	361.526.659	58.371.227	0	0	26.418.322	0	276.737.110	1.000.901.644	67.740.886	0	0	190.831.154	6.851.785	735.477.819
28	365.101.091	58.371.227	0	0	26.418.322	0	280.311.542	981.385.045	67.740.886	0	0	52.124.948	6.851.785	854.667.426
29	351.716.229	58.371.227	0	0	26.418.322	0	266.926.680	935.906.666	67.740.886	0	0	52.278.122	12.109.896	803.777.762
30	345.638.620	58.371.227	0	0	26.418.322	0	260.849.071	895.640.369	67.740.886	0	0	50.944.564	6.851.785	770.103.134

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 15.7.2-3
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO
PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 2 – PRECIOS DE MERCADO (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 8 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 10 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	189.992.341	58.371.227	0	0	26.418.322	0	105.202.792	234.979.326	58.371.227	0	0	26.418.322	0	150.189.777
2	189.992.341	58.371.227	0	0	26.418.322	0	105.202.792	234.979.326	58.371.227	0	0	26.418.322	0	150.189.777
3	189.992.341	58.371.227	17.473.148	0	26.418.322	0	87.729.644	234.979.326	58.371.227	22.805.041	0	26.418.322	0	127.384.735
4	226.073.426	60.693.585	14.584.203	23.163.510	60.395.732	14.887.467	52.348.930	279.642.773	62.903.637	19.034.538	28.499.895	74.248.683	18.846.743	76.109.277
5	325.383.365	65.338.298	14.576.972	46.326.959	109.751.335	8.142.154	81.247.648	402.125.725	71.968.437	19.025.096	56.999.701	135.095.434	10.307.540	108.729.517
6	492.443.552	72.305.365	14.564.490	69.490.450	163.437.294	8.142.154	164.503.798	607.943.667	85.565.613	19.008.807	85.499.574	201.283.044	10.307.540	206.279.090
7	732.732.789	81.594.788	14.571.051	92.653.953	221.453.691	8.142.154	314.317.153	903.792.673	103.695.194	19.017.367	113.999.460	272.811.638	10.307.540	383.961.474
8	891.442.416	82.577.109	14.577.865	19.980.522	60.737.590	8.142.154	705.427.177	1.098.650.812	106.904.811	19.026.259	25.128.538	75.183.318	10.307.540	862.100.347
9	970.680.448	83.559.437	0	19.980.522	60.950.133	14.390.500	791.799.856	1.196.689.231	110.114.476	0	25.128.538	75.495.603	18.217.613	967.733.002
10	1.030.410.683	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	879.609.398	1.269.912.469	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.076.713.653
11	1.077.009.298	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	926.208.014	1.326.906.355	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.133.707.539
12	1.111.385.702	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	960.584.418	1.369.024.471	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.175.825.655
13	1.128.842.112	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	978.040.828	1.390.463.677	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.197.264.862
14	1.147.160.380	83.559.437	0	0	59.099.693	14.390.500	990.110.750	1.412.909.252	110.114.476	0	0	72.776.800	18.217.613	1.211.800.364
15	1.161.296.738	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	1.010.495.454	1.430.227.357	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.237.028.542
16	1.166.492.612	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	1.015.691.328	1.436.604.968	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.243.406.153
17	1.173.635.095	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	1.022.833.810	1.445.348.061	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.252.149.246
18	1.182.269.003	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	1.031.467.719	1.455.893.530	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.262.694.715
19	1.190.113.116	83.559.437	0	0	59.099.693	14.887.467	1.032.566.519	1.465.481.723	110.114.476	0	0	72.776.800	18.846.743	1.263.743.704
20	1.186.582.212	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	1.035.780.928	1.461.204.837	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.268.006.021
21	1.179.300.656	83.559.437	0	0	202.837.645	8.142.154	884.761.420	1.452.224.274	110.114.476	0	0	248.051.288	10.307.540	1.083.750.971
22	1.170.570.984	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	1.019.769.700	1.441.470.695	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.248.271.879
23	1.178.456.927	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	1.027.655.643	1.451.124.300	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.257.925.485
24	1.181.182.510	83.559.437	0	0	60.395.732	14.390.500	1.022.836.842	1.454.486.648	110.114.476	0	0	74.248.683	18.217.613	1.251.905.876
25	1.184.867.391	83.559.437	0	0	109.751.335	8.142.154	983.414.466	1.459.013.800	110.114.476	0	0	135.095.434	10.307.540	1.203.496.350
26	1.186.695.149	83.559.437	0	0	163.437.294	8.142.154	931.556.264	1.461.222.281	110.114.476	0	0	201.283.044	10.307.540	1.139.517.221
27	1.161.222.237	83.559.437	0	0	221.453.691	8.142.154	848.066.956	1.430.116.172	110.114.476	0	0	272.811.638	10.307.540	1.036.882.518
28	1.138.767.535	83.559.437	0	0	60.737.590	8.142.154	986.328.355	1.402.734.841	110.114.476	0	0	75.183.318	10.307.540	1.207.129.508
29	1.086.388.891	83.559.437	0	0	60.950.133	14.390.500	927.488.821	1.338.785.508	110.114.476	0	0	75.495.603	18.217.613	1.134.957.817
30	1.040.000.894	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	889.199.609	1.282.132.294	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.088.933.479
30	1.106.093.020	83.559.437	0	0	59.099.693	8.142.154	955.291.736	1.362.628.222	110.114.476	0	0	72.776.800	10.307.540	1.169.429.407

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.7.2-3
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO
PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 2 – PRECIOS DE MERCADO (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 12 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 12,6 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	264.127.047	58.371.227	0	0	26.418.322	0	179.337.497	273.127.055	58.371.227	0	0	26.418.322	0	188.337.506
2	264.127.047	58.371.227	0	0	26.418.322	0	179.337.497	273.127.055	58.371.227	0	0	26.418.322	0	188.337.506
3	264.127.047	58.371.227	26.255.122	0	26.418.322	0	153.082.375	273.127.055	58.371.227	27.328.022	0	26.418.322	0	161.009.485
4	314.350.106	64.334.607	21.914.194	31.955.826	83.230.761	21.408.627	91.506.092	325.067.569	64.779.047	22.809.704	33.023.331	85.998.273	22.203.528	96.253.687
5	451.848.651	76.261.336	21.903.321	63.911.547	151.527.705	11.708.671	126.536.069	467.200.231	77.594.652	22.798.386	66.046.552	156.591.762	12.143.414	132.025.466
6	682.782.851	94.151.394	21.884.568	95.867.348	225.820.653	11.708.671	233.350.217	705.883.591	96.818.019	22.778.867	99.069.857	233.383.218	12.143.414	241.690.218
7	1.014.638.165	118.004.825	21.894.423	127.823.164	306.109.757	11.708.671	429.097.325	1.048.846.091	122.449.198	22.789.123	132.093.178	316.372.802	12.143.414	442.998.375
8	1.232.914.592	122.654.242	21.904.659	28.444.513	84.548.173	11.708.671	963.654.334	1.274.349.532	127.548.770	22.799.778	29.482.323	87.436.728	12.143.414	994.938.518
9	1.343.120.305	127.303.733	0	28.444.513	84.924.973	20.693.980	1.081.753.106	1.388.320.972	132.648.425	0	29.482.323	87.833.714	21.462.346	1.116.894.163
10	1.425.092.867	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.204.435.972	1.472.988.081	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.243.818.750
11	1.488.827.810	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.268.170.914	1.538.798.275	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.309.628.944
12	1.535.965.991	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.315.309.096	1.587.482.350	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.358.313.019
13	1.559.987.657	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.339.330.761	1.612.299.582	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.383.130.251
14	1.585.109.553	127.303.733	0	0	81.644.491	20.693.980	1.355.467.349	1.638.245.644	132.648.425	0	0	84.377.491	21.462.346	1.399.757.381
15	1.604.490.847	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.383.833.952	1.658.262.272	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.429.092.941
16	1.611.634.711	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.390.977.816	1.665.642.169	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.436.472.838
17	1.621.415.735	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.400.758.840	1.675.742.768	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.446.573.437
18	1.633.200.846	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.412.543.951	1.687.909.416	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.458.740.085
19	1.643.920.047	127.303.733	0	0	81.644.491	21.408.627	1.413.563.196	1.698.976.764	132.648.425	0	0	84.377.491	22.203.528	1.459.747.319
20	1.639.159.280	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.418.502.384	1.694.067.292	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.464.897.960
21	1.629.077.191	127.303.733	0	0	277.371.244	11.708.671	1.212.693.542	1.683.645.632	132.648.425	0	0	286.397.250	12.143.414	1.252.456.543
22	1.617.011.402	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.396.354.506	1.671.175.401	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.442.006.070
23	1.627.811.263	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.407.154.367	1.682.328.193	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.453.158.862
24	1.631.586.445	127.303.733	0	0	83.230.761	20.693.980	1.400.357.971	1.686.230.645	132.648.425	0	0	85.998.273	21.462.346	1.446.121.601
25	1.636.659.723	127.303.733	0	0	151.527.705	11.708.671	1.346.119.613	1.691.472.176	132.648.425	0	0	156.591.762	12.143.414	1.390.088.574
26	1.639.115.178	127.303.733	0	0	225.820.653	11.708.671	1.274.282.121	1.694.003.495	132.648.425	0	0	233.383.218	12.143.414	1.315.828.438
27	1.604.355.936	127.303.733	0	0	306.109.757	11.708.671	1.159.233.774	1.658.119.931	132.648.425	0	0	316.372.802	12.143.414	1.196.955.289
28	1.573.779.558	127.303.733	0	0	84.548.173	11.708.671	1.350.218.980	1.626.560.462	132.648.425	0	0	87.436.728	12.143.414	1.394.331.895
29	1.502.326.583	127.303.733	0	0	84.924.973	20.693.980	1.269.403.897	1.552.798.179	132.648.425	0	0	87.833.714	21.462.346	1.310.853.693
30	1.439.016.388	127.303.733	0	0	81.644.491	11.708.671	1.218.359.492	1.487.439.129	132.648.425	0	0	84.377.491	12.143.414	1.258.269.798

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 15.7.2-3
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 2 – PRECIOS DE MERCADO (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 14 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 18,1 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	294.325.209	58.371.227	0	0	26.418.322	0	209.535.660	337.353.979	58.371.227	0	0	26.418.322	0	252.564.430
2	294.325.209	58.371.227	0	0	26.418.322	0	209.535.660	337.353.979	58.371.227	0	0	26.418.322	0	252.564.430
3	294.325.209	58.371.227	29.833.426	0	26.418.322	0	179.702.234	337.353.979	58.371.227	34.936.602	0	26.418.322	0	217.627.828
4	350.309.604	65.817.445	24.900.872	35.538.855	92.528.246	24.066.705	107.457.481	401.547.239	67.932.742	29.160.306	40.642.463	105.777.101	27.854.806	130.179.821
5	503.363.538	80.709.840	24.888.516	71.077.587	168.537.365	13.162.413	144.987.818	576.764.541	87.055.715	29.145.833	81.284.777	192.776.766	15.234.181	171.267.269
6	760.314.415	103.048.381	24.867.207	106.616.413	251.220.674	13.162.413	261.399.327	870.783.902	115.740.104	29.120.880	121.927.208	287.417.108	15.234.181	301.344.421
7	1.129.464.713	132.833.132	24.878.404	142.155.258	340.578.355	13.162.413	475.857.151	1.293.071.874	153.985.997	29.133.991	162.569.659	389.698.352	15.234.181	542.449.694
8	1.372.010.410	138.977.042	24.890.035	31.906.598	94.242.980	13.162.413	1.068.831.342	1.570.188.272	162.262.740	29.147.610	36.831.096	108.060.276	15.234.181	1.218.652.369
9	1.494.841.207	145.121.053	0	31.906.598	94.686.670	23.263.330	1.199.863.555	1.711.000.749	170.539.624	0	36.831.096	108.599.508	26.924.982	1.368.105.539
10	1.585.869.884	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.336.762.585	1.814.933.419	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.525.254.745
11	1.656.581.968	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.407.474.669	1.895.586.596	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.605.907.922
12	1.708.916.189	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.459.808.889	1.955.324.509	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.665.645.834
13	1.735.610.952	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.486.503.652	1.985.828.325	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.696.149.651
14	1.763.502.989	145.121.053	0	0	90.823.833	23.263.330	1.504.294.773	2.017.667.468	170.539.624	0	0	103.904.869	26.924.982	1.716.297.993
15	1.785.019.792	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.535.912.493	2.042.227.090	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.752.548.416
16	1.792.956.795	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.543.849.496	2.051.294.267	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.761.615.593
17	1.803.812.117	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.554.704.817	2.063.680.289	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.774.001.615
18	1.816.880.252	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.567.772.953	2.078.576.424	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.788.897.750
19	1.828.770.057	145.121.053	0	0	90.823.833	24.066.705	1.568.758.466	2.092.134.091	170.539.624	0	0	103.904.869	27.854.806	1.789.834.792
20	1.823.508.555	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.574.401.255	2.086.159.325	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.796.480.651
21	1.812.286.198	145.121.053	0	0	307.717.967	13.162.413	1.346.284.765	2.073.311.966	170.539.624	0	0	350.956.083	15.234.181	1.536.582.078
22	1.798.862.074	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.549.754.775	2.057.952.130	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.768.273.456
23	1.810.848.354	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.561.741.054	2.071.628.867	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.781.950.193
24	1.815.050.892	145.121.053	0	0	92.528.246	23.263.330	1.554.138.263	2.076.440.436	170.539.624	0	0	105.777.101	26.924.982	1.773.198.729
25	1.820.689.468	145.121.053	0	0	168.537.365	13.162.413	1.493.868.637	2.082.884.545	170.539.624	0	0	192.776.766	15.234.181	1.704.333.974
26	1.823.400.487	145.121.053	0	0	251.220.674	13.162.413	1.413.896.347	2.085.959.571	170.539.624	0	0	287.417.108	15.234.181	1.612.768.658
27	1.784.860.279	145.121.053	0	0	340.578.355	13.162.413	1.285.998.458	2.042.032.434	170.539.624	0	0	389.698.352	15.234.181	1.466.560.277
28	1.750.977.140	145.121.053	0	0	94.242.980	13.162.413	1.498.450.693	2.003.438.164	170.539.624	0	0	108.060.276	15.234.181	1.709.604.083
29	1.671.757.982	145.121.053	0	0	94.686.670	23.263.330	1.408.686.929	1.913.154.195	170.539.624	0	0	108.599.508	26.924.982	1.607.090.081
30	1.601.557.847	145.121.053	0	0	90.823.833	13.162.413	1.352.450.547	1.833.137.590	170.539.624	0	0	103.904.869	15.234.181	1.543.458.916

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.7.2-4
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 2 – PRECIOS SOCIALES

Año	Situación Sin Proyecto ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 6,9 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	410.723.172	57.428.270	0	0	26.418.322	0	326.876.580	197.522.292	57.428.270	0	0	26.418.322	0	113.675.701
2	412.070.309	57.428.270	23.558.923	0	26.418.322	0	304.664.794	197.522.292	57.428.270	0	0	26.418.322	0	113.675.701
3	414.762.442	57.428.270	21.977.407	0	26.418.322	0	308.938.444	197.522.292	57.428.270	14.296.851	0	26.418.322	0	99.378.849
4	418.802.083	57.428.270	21.977.407	0	26.418.322	0	312.978.084	245.017.933	58.387.217	11.933.065	19.981.991	52.135.503	12.528.106	90.052.052
5	434.883.909	57.428.270	21.977.407	0	26.418.322	0	329.059.910	357.667.811	60.305.118	11.927.151	39.963.937	94.639.518	6.851.785	143.980.301
6	431.219.416	57.428.270	21.977.407	0	26.418.322	0	325.395.417	540.008.645	63.181.988	11.916.938	59.945.913	140.871.384	6.851.785	257.240.637
7	431.642.911	57.428.270	21.977.407	0	26.418.322	0	325.818.912	796.938.020	67.017.805	11.922.307	79.927.898	190.831.154	6.851.785	440.387.071
8	421.759.493	57.428.270	0	0	26.418.322	0	337.912.901	919.897.460	66.668.559	11.927.884	16.914.067	52.124.948	6.851.785	765.410.218
9	240.645.566	57.428.270	0	0	26.418.322	0	156.798.974	997.377.762	66.319.298	0	16.914.067	52.278.122	12.109.896	849.756.380
10	425.861.152	57.428.270	0	0	26.418.322	0	342.014.560	1.050.465.796	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	926.350.149
11	439.346.037	57.428.270	0	0	26.418.322	0	355.499.445	1.094.566.418	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	970.450.771
12	437.630.760	57.428.270	0	0	26.418.322	0	353.784.168	1.126.949.209	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	1.002.833.563
13	422.335.675	57.428.270	0	0	26.418.322	0	338.489.083	1.143.282.205	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	1.019.166.558
14	315.764.587	57.428.270	0	0	26.418.322	0	231.917.995	1.160.199.853	66.319.298	0	0	50.944.564	12.109.896	1.030.826.095
15	391.198.883	57.428.270	0	0	26.418.322	0	307.352.291	1.173.291.385	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	1.049.175.738
16	368.965.426	57.428.270	0	0	26.418.322	0	285.118.834	1.178.181.454	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	1.054.065.808
17	381.451.235	57.428.270	0	0	26.418.322	0	297.604.643	1.184.990.239	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	1.060.874.592
18	363.641.282	57.428.270	0	0	26.418.322	0	279.794.690	1.193.269.338	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	1.069.153.692
19	395.194.691	57.428.270	0	0	26.418.322	0	311.348.099	1.200.851.423	66.319.298	0	0	50.944.564	12.528.106	1.071.059.455
20	384.515.407	57.428.270	0	0	26.418.322	0	300.668.815	1.197.795.511	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	1.073.679.864
21	207.189.936	57.428.270	0	0	273.469.536	0	-123.707.870	1.191.393.869	66.319.298	0	0	175.875.013	6.851.785	942.347.774
22	412.145.708	57.428.270	0	0	26.418.322	0	328.299.116	1.184.045.912	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	1.059.930.266
23	412.287.208	57.428.270	0	0	26.418.322	0	328.440.616	1.189.729.380	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	1.065.613.733
24	413.944.995	57.428.270	0	0	26.418.322	0	330.098.403	1.192.276.399	66.319.298	0	0	52.135.503	12.109.896	1.061.711.703
25	431.310.791	57.428.270	0	0	26.418.322	0	347.464.199	1.195.715.595	66.319.298	0	0	94.639.518	6.851.785	1.027.904.995
26	441.477.328	57.428.270	0	0	26.418.322	0	357.630.736	1.197.377.717	66.319.298	0	0	140.871.384	6.851.785	983.335.251
27	437.663.178	57.428.270	0	0	26.418.322	0	353.816.586	1.171.942.869	66.319.298	0	0	190.831.154	6.851.785	907.940.632
28	441.513.108	57.428.270	0	0	26.418.322	0	357.666.516	1.148.140.302	66.319.298	0	0	52.124.948	6.851.785	1.022.844.272
29	427.106.102	57.428.270	0	0	26.418.322	0	343.259.510	1.104.795.476	66.319.298	0	0	52.278.122	12.109.896	974.088.161
30	420.460.508	57.428.270	0	0	26.418.322	0	336.613.916	1.067.310.861	66.319.298	0	0	50.944.564	6.851.785	943.195.215

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 15.7.2-4
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO
PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 2 – PRECIOS SOCIALES (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 8 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 10 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	230.349.849	57.428.270	0	0	26.418.322	0	146.503.257	285.415.396	57.428.270	0	0	26.418.322	0	201.568.805
2	230.349.849	57.428.270	0	0	26.418.322	0	146.503.257	285.415.396	57.428.270	0	0	26.418.322	0	201.568.805
3	230.349.849	57.428.270	17.473.148	0	26.418.322	0	129.030.110	285.415.396	57.428.270	22.805.041	0	26.418.322	0	178.763.763
4	285.521.099	59.683.013	14.584.203	23.163.510	60.395.732	14.887.467	112.807.175	353.460.781	61.858.099	19.034.538	28.499.895	74.248.683	18.846.743	150.972.823
5	416.207.224	64.192.497	14.576.972	46.326.959	109.751.335	8.142.154	173.217.308	514.397.590	70.717.742	19.025.096	56.999.701	135.095.434	10.307.540	222.252.077
6	627.629.664	70.956.733	14.564.490	69.490.450	163.437.294	8.142.154	301.038.543	774.595.415	84.007.198	19.008.807	85.499.574	201.283.044	10.307.540	374.489.252
7	925.434.527	79.975.709	14.571.051	92.653.953	221.453.691	8.142.154	508.637.970	1.140.955.550	101.726.479	19.017.367	113.999.460	272.811.638	10.307.540	623.093.067
8	1.067.963.306	80.949.769	14.577.865	19.980.522	60.737.590	8.142.154	883.575.406	1.316.308.260	104.923.225	19.026.259	25.128.538	75.183.318	10.307.540	1.081.739.380
9	1.158.220.037	81.923.838	0	19.980.522	60.950.133	14.390.500	980.975.044	1.427.998.816	108.120.021	0	25.128.538	75.495.603	18.217.613	1.201.037.041
10	1.219.529.723	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.070.364.039	1.503.095.816	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.311.891.456
11	1.270.399.223	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.121.233.538	1.565.316.089	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.374.111.729
12	1.307.805.576	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.158.639.891	1.611.146.755	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.419.942.395
13	1.326.712.981	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.177.547.297	1.634.371.551	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.443.167.191
14	1.346.259.048	81.923.838	0	0	59.099.693	14.390.500	1.190.845.017	1.658.325.392	108.120.021	0	0	72.776.800	18.217.613	1.459.210.959
15	1.361.382.483	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.212.216.798	1.676.856.253	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.485.651.893
16	1.367.039.076	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.217.873.391	1.683.798.316	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.492.593.956
17	1.374.897.565	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.225.731.881	1.693.417.086	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.502.212.726
18	1.384.436.115	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.235.270.431	1.705.067.559	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.513.863.198
19	1.393.177.105	81.923.838	0	0	59.099.693	14.887.467	1.237.266.108	1.715.751.900	108.120.021	0	0	72.776.800	18.846.743	1.516.008.336
20	1.389.682.926	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.240.517.241	1.711.522.943	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.520.318.582
21	1.382.234.687	81.923.838	0	0	202.837.645	8.142.154	1.089.331.050	1.702.319.332	108.120.021	0	0	248.051.288	10.307.540	1.335.840.484
22	1.373.694.469	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.224.528.785	1.691.779.475	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.500.575.115
23	1.380.259.907	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.231.094.222	1.699.823.941	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.508.619.581
24	1.383.216.466	81.923.838	0	0	60.395.732	14.390.500	1.226.506.397	1.703.467.357	108.120.021	0	0	74.248.683	18.217.613	1.502.881.040
25	1.387.194.707	81.923.838	0	0	109.751.335	8.142.154	1.187.377.381	1.708.349.584	108.120.021	0	0	135.095.434	10.307.540	1.454.826.589
26	1.389.091.475	81.923.838	0	0	163.437.294	8.142.154	1.135.588.190	1.710.639.726	108.120.021	0	0	201.283.044	10.307.540	1.390.929.122
27	1.359.804.359	81.923.838	0	0	221.453.691	8.142.154	1.048.284.677	1.674.892.981	108.120.021	0	0	272.811.638	10.307.540	1.283.653.783
28	1.332.418.463	81.923.838	0	0	60.737.590	8.142.154	1.181.614.882	1.641.498.538	108.120.021	0	0	75.183.318	10.307.540	1.447.887.659
29	1.282.484.454	81.923.838	0	0	60.950.133	14.390.500	1.125.219.983	1.580.515.414	108.120.021	0	0	75.495.603	18.217.613	1.378.682.177
30	1.239.288.302	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.090.122.618	1.527.741.764	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.336.537.404
30	1.297.359.790	81.923.838	0	0	59.099.693	8.142.154	1.148.194.105	1.598.447.685	108.120.021	0	0	72.776.800	10.307.540	1.407.243.324

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.7.2-4
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 2 – PRECIOS SOCIALES (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 12 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 12,6 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	321.089.209	57.428.270	0	0	26.418.322	0	237.242.618	332.108.865	57.428.270	0	0	26.418.322	0	248.262.273
2	321.089.209	57.428.270	0	0	26.418.322	0	237.242.618	332.108.865	57.428.270	0	0	26.418.322	0	248.262.273
3	321.089.209	57.428.270	26.255.122	0	26.418.322	0	210.987.495	332.108.865	57.428.270	27.328.022	0	26.418.322	0	220.934.251
4	397.476.169	63.266.393	21.914.194	31.955.826	83.230.761	21.408.627	175.700.368	411.070.568	63.703.856	22.809.704	33.023.331	85.998.273	22.203.528	183.331.877
5	578.015.936	74.942.615	21.903.321	63.911.547	151.527.705	11.708.671	254.022.076	597.658.472	76.254.999	22.798.386	66.046.552	156.591.762	12.143.414	263.823.359
6	869.822.701	92.456.930	21.884.568	95.867.348	225.820.653	11.708.671	422.084.531	899.215.888	95.081.693	22.778.867	99.069.857	233.383.218	12.143.414	436.758.839
7	1.280.611.728	115.809.361	21.894.423	127.823.164	306.109.757	11.708.671	697.266.352	1.323.708.636	120.183.966	22.789.123	132.093.178	316.372.802	12.143.414	720.126.153
8	1.477.220.755	120.442.918	21.904.659	28.444.513	84.548.173	11.708.671	1.210.171.821	1.526.884.128	125.266.759	22.799.778	29.482.323	87.436.728	12.143.414	1.249.755.125
9	1.602.780.596	125.076.551	0	28.444.513	84.924.973	20.693.980	1.343.640.579	1.656.737.994	130.349.635	0	29.482.323	87.833.714	21.462.346	1.387.609.975
10	1.686.817.957	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.468.388.243	1.743.528.353	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.516.657.812
11	1.756.398.896	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.537.969.183	1.815.375.310	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.588.504.769
12	1.807.692.255	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.589.262.541	1.868.350.867	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.641.480.326
13	1.833.716.451	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.615.286.737	1.895.237.483	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.668.366.942
14	1.860.528.468	125.076.551	0	0	81.644.491	20.693.980	1.633.113.446	1.922.929.691	130.349.635	0	0	84.377.491	21.462.346	1.686.740.218
15	1.881.268.848	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.662.839.134	1.944.350.486	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.717.479.945
16	1.889.044.430	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.670.614.717	1.952.382.816	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.725.512.275
17	1.899.804.672	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.681.374.959	1.963.494.508	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.736.623.967
18	1.912.824.721	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.694.395.007	1.976.936.085	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.750.065.544
19	1.924.769.294	125.076.551	0	0	81.644.491	21.408.627	1.696.639.625	1.989.268.583	130.349.635	0	0	84.377.491	22.203.528	1.752.337.929
20	1.920.063.713	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.701.634.000	1.984.416.550	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.757.546.009
21	1.909.722.085	125.076.551	0	0	277.371.244	11.708.671	1.495.565.618	1.973.723.998	130.349.635	0	0	286.397.250	12.143.414	1.544.833.699
22	1.897.885.812	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.679.456.098	1.961.488.033	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.734.617.493
23	1.906.889.344	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.688.459.630	1.970.786.906	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.743.916.365
24	1.910.978.082	125.076.551	0	0	83.230.761	20.693.980	1.681.976.790	1.975.012.907	130.349.635	0	0	85.998.273	21.462.346	1.737.202.653
25	1.916.446.467	125.076.551	0	0	151.527.705	11.708.671	1.628.133.539	1.980.661.845	130.349.635	0	0	156.591.762	12.143.414	1.681.577.034
26	1.918.991.796	125.076.551	0	0	225.820.653	11.708.671	1.556.385.921	1.983.285.550	130.349.635	0	0	233.383.218	12.143.414	1.607.409.283
27	1.879.055.922	125.076.551	0	0	306.109.757	11.708.671	1.436.160.942	1.942.060.498	130.349.635	0	0	316.372.802	12.143.414	1.483.194.647
28	1.841.764.779	125.076.551	0	0	84.548.173	11.708.671	1.620.431.383	1.903.570.371	130.349.635	0	0	87.436.728	12.143.414	1.673.640.594
29	1.773.616.313	125.076.551	0	0	84.924.973	20.693.980	1.542.920.809	1.833.216.596	130.349.635	0	0	87.833.714	21.462.346	1.593.570.900
30	1.714.631.727	125.076.551	0	0	81.644.491	11.708.671	1.496.202.014	1.772.320.321	130.349.635	0	0	84.377.491	12.143.414	1.545.449.780

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 15.7.2-4
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 2 – PRECIOS SOCIALES (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 14 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 18,1 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	358.053.136	57.428.270	0	0	26.418.322	0	274.206.544	410.723.172	57.428.270	0	0	26.418.322	0	326.876.580
2	358.053.136	57.428.270	0	0	26.418.322	0	274.206.544	410.723.172	57.428.270	0	0	26.418.322	0	326.876.580
3	358.053.136	57.428.270	29.833.426	0	26.418.322	0	244.373.118	410.723.172	57.428.270	34.936.602	0	26.418.322	0	291.939.978
4	443.082.352	64.725.763	24.900.872	35.538.855	92.528.246	24.066.705	201.321.911	508.065.581	66.807.624	29.160.306	40.642.463	105.777.101	27.854.806	237.823.281
5	643.928.621	79.320.713	24.888.516	71.077.587	168.537.365	13.162.413	286.942.027	737.843.825	85.566.283	29.145.833	81.284.777	192.776.766	15.234.181	333.835.985
6	968.476.769	101.213.111	24.867.207	106.616.413	251.220.674	13.162.413	471.396.951	1.109.040.671	113.704.228	29.120.880	121.927.208	287.417.108	15.234.181	541.637.066
7	1.425.284.529	130.402.993	24.878.404	142.155.258	340.578.355	13.162.413	774.107.107	1.631.414.183	151.221.515	29.133.991	162.569.659	389.698.352	15.234.181	883.556.485
8	1.643.933.053	136.527.948	24.890.035	31.906.598	94.242.980	13.162.413	1.343.203.078	1.881.454.767	159.474.896	29.147.610	36.831.096	108.060.276	15.234.181	1.532.706.708
9	1.783.887.245	142.653.007	0	31.906.598	94.686.670	23.263.330	1.491.377.640	2.041.909.374	167.728.419	0	36.831.096	108.599.508	26.924.982	1.701.825.368
10	1.877.178.319	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.630.539.066	2.148.385.718	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	1.861.518.249
11	1.954.377.716	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.707.738.463	2.236.439.973	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	1.949.572.504
12	2.011.325.257	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.764.686.004	2.301.444.004	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	2.014.576.534
13	2.040.247.114	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.793.607.861	2.334.494.921	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	2.047.627.452
14	2.070.017.511	142.653.007	0	0	90.823.833	23.263.330	1.813.277.341	2.368.480.657	167.728.419	0	0	103.904.869	26.924.982	2.069.922.387
15	2.093.044.865	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.846.405.612	2.394.766.667	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	2.107.899.197
16	2.101.683.211	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.855.043.957	2.404.634.390	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	2.117.766.921
17	2.113.624.918	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.866.985.664	2.418.259.491	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	2.131.392.022
18	2.128.062.472	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.881.423.219	2.434.716.648	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	2.147.849.179
19	2.141.311.399	142.653.007	0	0	90.823.833	24.066.705	1.883.767.854	2.449.824.000	167.728.419	0	0	103.904.869	27.854.806	2.150.335.906
20	2.136.112.600	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.889.473.347	2.443.922.663	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	2.157.055.194
21	2.124.592.892	142.653.007	0	0	307.717.967	13.162.413	1.661.059.505	2.430.723.991	167.728.419	0	0	350.956.083	15.234.181	1.896.805.308
22	2.111.414.591	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.864.775.338	2.415.633.131	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	2.128.765.662
23	2.121.410.809	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.874.771.556	2.427.043.802	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	2.140.176.333
24	2.125.960.526	142.653.007	0	0	92.528.246	23.263.330	1.867.515.944	2.432.250.449	167.728.419	0	0	105.777.101	26.924.982	2.131.819.947
25	2.132.035.634	142.653.007	0	0	168.537.365	13.162.413	1.807.682.849	2.439.190.096	167.728.419	0	0	192.776.766	15.234.181	2.063.450.730
26	2.134.845.022	142.653.007	0	0	251.220.674	13.162.413	1.727.808.928	2.442.375.582	167.728.419	0	0	287.417.108	15.234.181	1.971.995.873
27	2.090.573.469	142.653.007	0	0	340.578.355	13.162.413	1.594.179.694	2.391.926.849	167.728.419	0	0	389.698.352	15.234.181	1.819.265.897
28	2.049.249.378	142.653.007	0	0	94.242.980	13.162.413	1.799.190.978	2.344.857.034	167.728.419	0	0	108.060.276	15.234.181	2.053.834.158
29	1.973.684.826	142.653.007	0	0	94.686.670	23.263.330	1.713.081.819	2.258.726.384	167.728.419	0	0	108.599.508	26.924.982	1.955.473.474
30	1.908.271.913	142.653.007	0	0	90.823.833	13.162.413	1.661.632.659	2.184.154.599	167.728.419	0	0	103.904.869	15.234.181	1.897.287.130

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.7.2-5
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 3 – PRECIOS DE MERCADO

Año	Situación Sin Proyecto ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 6,9 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	337.353.979	58.371.227	0	0	26.418.322	0	252.564.430	163.640.302	58.494.727	0	0	26.418.322	0	78.727.253
2	338.546.007	58.371.227	23.558.923	0	26.418.322	0	230.197.535	163.640.302	58.494.727	0	0	26.418.322	0	78.727.253
3	340.928.928	58.371.227	21.977.407	0	26.418.322	0	234.161.972	163.640.302	58.494.727	14.608.716	0	26.418.322	0	64.118.537
4	344.503.315	58.371.227	21.977.407	0	26.418.322	0	237.736.359	196.845.400	59.477.140	12.193.368	20.669.740	53.489.089	13.079.192	37.936.872
5	358.890.048	58.371.227	21.977.407	0	26.418.322	0	252.123.092	286.752.125	61.441.970	12.187.325	41.339.436	97.529.120	7.153.180	67.101.094
6	355.249.182	58.371.227	21.977.407	0	26.418.322	0	248.482.226	437.277.755	64.389.227	12.176.890	62.009.160	145.441.196	7.153.180	146.108.103
7	355.505.078	58.371.227	21.977.407	0	26.418.322	0	248.738.122	653.161.359	68.318.895	12.182.376	82.678.894	197.225.371	7.153.180	285.602.644
8	345.791.989	58.371.227	0	0	26.418.322	0	261.002.440	801.599.042	67.960.996	12.188.075	20.597.500	53.517.133	7.153.180	640.182.160
9	116.559.822	58.371.227	0	0	26.418.322	0	31.770.273	881.107.849	67.603.080	0	20.597.500	53.669.119	12.642.585	726.595.566
10	350.520.476	58.371.227	0	0	26.418.322	0	265.730.927	932.638.667	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	805.536.508
11	363.061.015	58.371.227	0	0	26.418.322	0	278.271.465	972.920.158	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	845.817.999
12	361.488.195	58.371.227	0	0	26.418.322	0	276.698.645	1.002.592.060	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	875.489.901
13	347.356.236	58.371.227	0	0	26.418.322	0	262.566.687	1.017.628.249	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	890.526.089
14	230.697.819	58.371.227	0	0	26.418.322	0	145.908.270	1.033.438.426	67.603.080	0	0	52.345.899	12.642.585	900.846.862
15	317.320.565	58.371.227	0	0	26.418.322	0	232.531.016	1.045.641.291	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	918.539.132
16	295.562.785	58.371.227	0	0	26.418.322	0	210.773.236	1.050.119.058	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	923.016.898
17	310.338.780	58.371.227	0	0	26.418.322	0	225.549.231	1.056.288.869	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	929.186.710
18	288.018.231	58.371.227	0	0	26.418.322	0	203.228.682	1.063.761.122	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	936.658.962
19	323.154.335	58.371.227	0	0	26.418.322	0	238.364.786	1.070.545.365	67.603.080	0	0	52.345.899	13.079.192	937.517.193
20	312.579.701	58.371.227	0	0	26.418.322	0	227.790.152	1.067.467.833	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	940.365.673
21	86.598.812	58.371.227	0	0	273.469.536	0	-245.241.951	1.061.218.672	67.603.080	0	0	176.918.791	7.153.180	809.543.621
22	339.056.668	58.371.227	0	0	26.418.322	0	254.267.119	1.053.718.832	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	926.616.673
23	338.820.876	58.371.227	0	0	26.418.322	0	254.031.327	1.060.530.589	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	933.428.430
24	340.407.560	58.371.227	0	0	26.418.322	0	255.618.011	1.062.869.245	67.603.080	0	0	53.489.089	12.642.585	929.134.492
25	355.885.336	58.371.227	0	0	26.418.322	0	271.095.787	1.066.042.306	67.603.080	0	0	97.529.120	7.153.180	893.756.927
26	365.433.816	58.371.227	0	0	26.418.322	0	280.644.267	1.067.638.674	67.603.080	0	0	145.441.196	7.153.180	847.441.218
27	361.526.659	58.371.227	0	0	26.418.322	0	276.737.110	1.045.589.063	67.603.080	0	0	197.225.371	7.153.180	773.607.432
28	365.101.091	58.371.227	0	0	26.418.322	0	280.311.542	1.026.128.322	67.603.080	0	0	53.517.133	7.153.180	897.854.929
29	351.716.229	58.371.227	0	0	26.418.322	0	266.926.680	980.781.213	67.603.080	0	0	53.669.119	12.642.585	846.866.429
30	345.638.620	58.371.227	0	0	26.418.322	0	260.849.071	940.631.395	67.603.080	0	0	52.345.899	7.153.180	813.529.236

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 15.7.2-5
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO
PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 3 – PRECIOS DE MERCADO (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 8 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 10 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	185.361.343	58.494.727	0	0	26.418.322	0	100.448.293	233.274.153	58.494.727	0	0	26.418.322	0	148.361.104
2	185.361.343	58.494.727	0	0	26.418.322	0	100.448.293	233.274.153	58.494.727	0	0	26.418.322	0	148.361.104
3	185.361.343	58.494.727	17.263.332	0	26.418.322	0	83.184.962	233.274.153	58.494.727	23.117.047	0	26.418.322	0	125.244.057
4	223.384.287	60.532.077	14.409.078	23.443.397	60.559.611	15.149.723	49.290.402	281.933.081	62.855.932	19.294.960	29.568.266	76.151.294	19.721.070	74.341.559
5	325.787.796	64.606.774	14.401.935	46.886.737	110.594.323	8.285.582	81.012.445	411.916.357	71.578.324	19.285.389	59.136.447	139.406.015	10.785.717	111.724.465
6	496.962.522	70.718.820	14.389.604	70.330.116	165.031.097	8.285.582	168.207.302	628.658.309	84.661.889	19.268.878	88.704.690	208.231.665	10.785.717	217.005.470
7	742.227.191	78.868.215	14.396.085	93.773.507	223.870.009	8.285.582	323.033.792	938.755.593	102.106.656	19.277.555	118.272.948	282.628.363	10.785.717	405.684.354
8	911.533.490	79.583.591	14.402.819	24.211.543	60.884.313	8.285.582	724.165.641	1.154.149.643	105.187.361	19.286.570	32.229.884	77.128.017	10.785.717	909.532.094
9	1.003.649.900	80.298.970	0	24.211.543	61.083.796	14.643.999	823.411.593	1.274.139.866	108.268.112	0	32.229.884	77.431.990	19.062.751	1.037.147.130
10	1.061.605.958	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	913.674.336	1.346.260.394	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.152.421.015
11	1.106.837.577	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	958.905.956	1.402.405.139	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.208.565.760
12	1.140.196.009	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	992.264.387	1.443.890.642	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.250.051.263
13	1.157.128.768	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	1.009.197.146	1.465.004.234	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.271.164.855
14	1.174.904.330	80.298.970	0	0	59.347.070	14.643.999	1.020.614.292	1.487.112.540	108.268.112	0	0	74.785.550	19.062.751	1.284.996.128
15	1.188.622.312	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	1.040.690.691	1.504.170.655	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.310.331.276
16	1.193.662.810	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	1.045.731.188	1.510.451.664	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.316.612.285
17	1.200.594.817	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	1.052.663.195	1.519.063.988	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.325.224.609
18	1.208.977.337	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	1.061.045.715	1.529.453.356	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.335.613.977
19	1.216.592.094	80.298.970	0	0	59.347.070	15.149.723	1.061.796.332	1.538.899.101	108.268.112	0	0	74.785.550	19.721.070	1.336.124.370
20	1.213.159.332	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	1.065.227.710	1.534.683.020	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.340.843.641
21	1.206.101.120	80.298.970	0	0	198.937.359	8.285.582	918.579.209	1.525.841.475	108.268.112	0	0	247.485.627	10.785.717	1.159.302.020
22	1.197.637.515	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	1.049.705.894	1.515.253.460	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.321.414.081
23	1.205.291.017	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	1.057.359.395	1.524.762.647	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.330.923.268
24	1.207.932.894	80.298.970	0	0	60.559.611	14.643.999	1.052.430.314	1.528.072.890	108.268.112	0	0	76.151.294	19.062.751	1.324.590.733
25	1.211.507.036	80.298.970	0	0	110.594.323	8.285.582	1.012.328.162	1.532.531.177	108.268.112	0	0	139.406.015	10.785.717	1.274.071.333
26	1.213.284.700	80.298.970	0	0	165.031.097	8.285.582	959.669.051	1.534.708.643	108.268.112	0	0	208.231.665	10.785.717	1.207.423.150
27	1.188.552.615	80.298.970	0	0	223.870.009	8.285.582	876.098.053	1.504.062.529	108.268.112	0	0	282.628.363	10.785.717	1.102.380.337
28	1.166.745.860	80.298.970	0	0	60.884.313	8.285.582	1.017.276.994	1.477.083.372	108.268.112	0	0	77.128.017	10.785.717	1.280.901.527
29	1.115.888.900	80.298.970	0	0	61.083.796	14.643.999	959.862.136	1.414.078.836	108.268.112	0	0	77.431.990	19.062.751	1.209.315.984
30	1.070.850.883	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	922.919.262	1.358.263.879	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.164.424.500
30	1.135.048.529	80.298.970	0	0	59.347.070	8.285.582	987.116.907	1.437.584.296	108.268.112	0	0	74.785.550	10.785.717	1.243.744.917

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.7.2-5
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 3 – PRECIOS DE MERCADO (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 12 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 12,6 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	260.369.763	58.494.727	0	0	26.418.322	0	175.456.714	261.627.780	58.494.727	0	0	26.418.322	0	176.714.731
2	260.369.763	58.494.727	0	0	26.418.322	0	175.456.714	261.627.780	58.494.727	0	0	26.418.322	0	176.714.731
3	260.369.763	58.494.727	26.429.962	0	26.418.322	0	149.026.752	261.627.780	58.494.727	26.585.412	0	26.418.322	0	150.129.319
4	315.035.378	64.173.239	22.060.129	33.025.947	84.971.821	22.302.912	88.501.330	316.570.628	64.234.437	22.189.877	33.187.382	85.375.028	22.424.409	89.159.494
5	460.601.691	75.530.236	22.049.185	66.051.793	155.704.743	12.197.763	129.067.971	462.854.949	75.713.827	22.178.869	66.374.662	156.449.594	12.264.212	129.873.785
6	703.093.625	92.565.696	22.030.307	99.077.716	232.669.769	12.197.763	244.552.374	706.532.724	92.932.879	22.159.880	99.562.020	233.786.464	12.264.212	245.827.270
7	1.049.831.057	115.279.663	22.040.228	132.103.654	315.867.044	12.197.763	452.342.705	1.054.956.965	115.891.634	22.169.859	132.749.393	317.385.785	12.264.212	454.496.083
8	1.291.236.173	119.700.564	22.050.533	36.723.823	86.319.699	12.197.763	1.014.243.791	1.297.562.072	120.376.151	22.180.225	36.944.501	86.740.365	12.264.212	1.019.056.618
9	1.426.931.055	124.121.534	0	36.723.823	86.683.042	21.558.409	1.157.844.247	1.433.984.980	124.860.739	0	36.944.501	87.106.478	21.675.850	1.163.397.412
10	1.507.068.660	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.287.229.643	1.514.490.156	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.293.446.170
11	1.569.389.645	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.349.550.628	1.577.094.187	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.356.050.202
12	1.615.474.957	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.395.635.940	1.623.390.370	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.402.346.385
13	1.638.955.071	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.419.116.054	1.646.979.022	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.425.935.037
14	1.663.515.659	124.121.534	0	0	83.519.720	21.558.409	1.434.315.997	1.671.652.034	124.860.739	0	0	83.919.035	21.675.850	1.441.196.410
15	1.682.464.234	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.462.625.217	1.690.687.271	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.469.643.286
16	1.689.447.406	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.469.608.389	1.697.702.645	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.476.658.659
17	1.699.010.731	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.479.171.714	1.707.309.559	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.486.265.574
18	1.710.535.803	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.490.696.786	1.718.886.665	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.497.842.679
19	1.721.017.762	124.121.534	0	0	83.519.720	22.302.912	1.491.073.597	1.729.416.106	124.860.739	0	0	83.919.035	22.424.409	1.498.211.924
20	1.716.358.551	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.496.519.534	1.724.736.627	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.503.692.641
21	1.706.507.403	124.121.534	0	0	274.955.788	12.197.763	1.295.232.318	1.714.839.140	124.860.739	0	0	276.213.240	12.264.212	1.301.500.949
22	1.694.716.745	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.474.877.727	1.702.993.293	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.481.949.308
23	1.705.276.187	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.485.437.170	1.713.600.875	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.492.556.890
24	1.708.964.817	124.121.534	0	0	84.971.821	21.558.409	1.478.313.053	1.717.306.873	124.860.739	0	0	85.375.028	21.675.850	1.485.395.256
25	1.713.923.573	124.121.534	0	0	155.704.743	12.197.763	1.421.899.533	1.722.288.584	124.860.739	0	0	156.449.594	12.264.212	1.428.714.040
26	1.716.327.186	124.121.534	0	0	232.669.769	12.197.763	1.347.338.120	1.724.702.535	124.860.739	0	0	233.786.464	12.264.212	1.353.791.121
27	1.682.334.270	124.121.534	0	0	315.867.044	12.197.763	1.230.147.928	1.690.556.288	124.860.739	0	0	317.385.785	12.264.212	1.236.045.553
28	1.652.428.182	124.121.534	0	0	86.319.699	12.197.763	1.429.789.185	1.660.516.142	124.860.739	0	0	86.740.365	12.264.212	1.436.650.827
29	1.582.549.283	124.121.534	0	0	86.683.042	21.558.409	1.350.186.298	1.590.322.311	124.860.739	0	0	87.106.478	21.675.850	1.356.679.244
30	1.520.635.529	124.121.534	0	0	83.519.720	12.197.763	1.300.796.512	1.528.129.138	124.860.739	0	0	83.919.035	12.264.212	1.307.085.152

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 15.7.2-5
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO
PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 3 – PRECIOS DE MERCADO (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 14 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 18,1 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	275.697.200	58.494.727	0	0	26.418.322	0	190.784.150	340.847.379	58.494.727	0	0	26.418.322	0	255.934.330
2	275.697.200	58.494.727	0	0	26.418.322	0	190.784.150	340.847.379	58.494.727	0	0	26.418.322	0	255.934.330
3	275.697.200	58.494.727	28.307.037	0	26.418.322	0	162.477.114	340.847.379	58.494.727	36.267.302	0	26.418.322	0	219.667.028
4	333.761.155	64.918.882	23.626.854	34.983.274	89.955.803	23.765.955	96.510.386	413.363.763	68.080.664	30.270.996	43.306.463	111.156.268	29.978.494	130.570.878
5	488.140.700	77.767.159	23.615.132	69.966.437	164.914.586	12.997.923	138.879.463	605.227.314	87.252.481	30.255.973	86.612.777	204.089.343	16.395.649	180.621.091
6	745.194.385	97.039.532	23.594.914	104.949.685	246.479.103	12.997.923	260.133.228	924.216.049	116.010.136	30.230.070	129.919.208	305.217.340	16.395.649	326.443.646
7	1.112.650.651	122.736.055	23.605.538	139.932.949	334.649.512	12.997.923	478.728.674	1.379.796.519	154.353.717	30.243.681	173.225.659	414.540.482	16.395.649	591.037.331
8	1.368.771.300	127.917.305	23.616.575	39.282.038	91.514.378	12.997.923	1.073.443.081	1.698.528.539	162.752.570	30.257.820	50.151.096	113.602.713	16.395.649	1.325.368.691
9	1.513.359.948	133.098.638	0	39.282.038	91.911.364	22.972.615	1.226.095.293	1.880.956.640	171.151.564	0	50.151.096	114.141.945	28.977.774	1.516.534.260
10	1.598.027.058	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.363.475.355	1.984.889.310	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.687.894.791
11	1.663.837.252	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.429.285.549	2.065.542.487	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.768.547.968
12	1.712.521.326	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.477.969.624	2.125.280.399	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.828.285.880
13	1.737.338.559	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.502.786.856	2.155.784.215	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.858.789.696
14	1.763.284.621	133.098.638	0	0	88.455.142	22.972.615	1.518.758.226	2.187.623.359	171.151.564	0	0	109.447.306	28.977.774	1.878.046.715
15	1.783.301.248	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.548.749.545	2.212.182.981	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.915.188.462
16	1.790.681.146	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.556.129.443	2.221.250.158	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.924.255.639
17	1.800.781.744	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.566.230.042	2.233.636.180	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.936.641.661
18	1.812.948.393	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.578.396.690	2.248.532.315	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.951.537.796
19	1.824.015.740	133.098.638	0	0	88.455.142	23.765.955	1.578.696.005	2.262.089.982	171.151.564	0	0	109.447.306	29.978.494	1.951.512.617
20	1.819.106.268	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.584.554.565	2.256.115.216	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.959.120.696
21	1.808.684.609	133.098.638	0	0	290.474.900	12.997.923	1.372.113.148	2.243.267.857	171.151.564	0	0	356.498.520	16.395.649	1.699.222.124
22	1.796.214.378	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.561.662.675	2.227.908.021	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.930.913.502
23	1.807.367.169	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.572.815.467	2.241.584.758	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.944.590.239
24	1.811.269.622	133.098.638	0	0	89.955.803	22.972.615	1.565.242.566	2.246.396.327	171.151.564	0	0	111.156.268	28.977.774	1.935.110.720
25	1.816.511.153	133.098.638	0	0	164.914.586	12.997.923	1.505.500.005	2.252.840.436	171.151.564	0	0	204.089.343	16.395.649	1.861.203.879
26	1.819.042.472	133.098.638	0	0	246.479.103	12.997.923	1.426.466.808	2.255.915.462	171.151.564	0	0	305.217.340	16.395.649	1.763.150.908
27	1.783.158.908	133.098.638	0	0	334.649.512	12.997.923	1.302.412.834	2.211.988.325	171.151.564	0	0	414.540.482	16.395.649	1.609.900.629
28	1.751.599.439	133.098.638	0	0	91.514.378	12.997.923	1.513.988.500	2.173.394.055	171.151.564	0	0	113.602.713	16.395.649	1.872.244.128
29	1.677.837.155	133.098.638	0	0	91.911.364	22.972.615	1.429.854.538	2.083.110.086	171.151.564	0	0	114.141.945	28.977.774	1.768.838.803
30	1.612.478.106	133.098.638	0	0	88.455.142	12.997.923	1.377.926.403	2.003.093.480	171.151.564	0	0	109.447.306	16.395.649	1.706.098.961

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.7.2-6
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 3 – PRECIOS SOCIALES

Año	Situación Sin Proyecto ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 6,9 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	410.723.172	57.428.270	0	0	26.418.322	0	326.876.580	198.175.057	57.551.770	0	0	26.418.322	0	114.204.965
2	412.070.309	57.428.270	23.558.923	0	26.418.322	0	304.664.794	198.175.057	57.551.770	0	0	26.418.322	0	114.204.965
3	414.762.442	57.428.270	21.977.407	0	26.418.322	0	308.938.444	198.175.057	57.551.770	14.608.716	0	26.418.322	0	99.596.249
4	418.802.083	57.428.270	21.977.407	0	26.418.322	0	312.978.084	248.271.168	58.487.815	12.193.368	20.669.740	53.489.089	13.079.192	90.351.964
5	434.883.909	57.428.270	21.977.407	0	26.418.322	0	329.059.910	366.070.899	60.359.915	12.187.325	41.339.436	97.529.120	7.153.180	147.501.924
6	431.219.416	57.428.270	21.977.407	0	26.418.322	0	325.395.417	556.097.947	63.168.081	12.176.890	62.009.160	145.441.196	7.153.180	266.149.441
7	431.642.911	57.428.270	21.977.407	0	26.418.322	0	325.818.912	823.235.649	66.912.293	12.182.376	82.678.894	197.225.371	7.153.180	457.083.536
8	421.759.493	57.428.270	0	0	26.418.322	0	337.912.901	959.557.560	66.548.935	12.188.075	20.597.500	53.517.133	7.153.180	799.552.738
9	240.645.566	57.428.270	0	0	26.418.322	0	156.798.974	1.050.529.388	66.185.561	0	20.597.500	53.669.119	12.642.585	897.434.624
10	425.861.152	57.428.270	0	0	26.418.322	0	342.014.560	1.103.460.746	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	977.776.106
11	439.346.037	57.428.270	0	0	26.418.322	0	355.499.445	1.147.432.471	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	1.021.747.832
12	437.630.760	57.428.270	0	0	26.418.322	0	353.784.168	1.179.719.518	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	1.054.034.879
13	422.335.675	57.428.270	0	0	26.418.322	0	338.489.083	1.196.003.384	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	1.070.318.744
14	315.764.587	57.428.270	0	0	26.418.322	0	231.917.995	1.212.870.930	66.185.561	0	0	52.345.899	12.642.585	1.081.696.885
15	391.198.883	57.428.270	0	0	26.418.322	0	307.352.291	1.225.923.734	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	1.100.239.094
16	368.965.426	57.428.270	0	0	26.418.322	0	285.118.834	1.230.799.182	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	1.105.114.542
17	381.451.235	57.428.270	0	0	26.418.322	0	297.604.643	1.237.587.970	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	1.111.903.330
18	363.641.282	57.428.270	0	0	26.418.322	0	279.794.690	1.245.843.104	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	1.120.158.465
19	395.194.691	57.428.270	0	0	26.418.322	0	311.348.099	1.253.403.128	66.185.561	0	0	52.345.899	13.079.192	1.121.792.476
20	384.515.407	57.428.270	0	0	26.418.322	0	300.668.815	1.250.355.513	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	1.124.670.874
21	207.189.936	57.428.270	0	0	273.469.536	0	-123.707.870	1.243.973.903	66.185.561	0	0	176.918.791	7.153.180	993.716.371
22	412.145.708	57.428.270	0	0	26.418.322	0	328.299.116	1.236.648.752	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	1.110.964.112
23	412.287.208	57.428.270	0	0	26.418.322	0	328.440.616	1.242.315.409	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	1.116.630.769
24	413.944.995	57.428.270	0	0	26.418.322	0	330.098.403	1.244.854.600	66.185.561	0	0	53.489.089	12.642.585	1.112.537.366
25	431.310.791	57.428.270	0	0	26.418.322	0	347.464.199	1.248.283.514	66.185.561	0	0	97.529.120	7.153.180	1.077.415.654
26	441.477.328	57.428.270	0	0	26.418.322	0	357.630.736	1.249.941.200	66.185.561	0	0	145.441.196	7.153.180	1.031.161.264
27	437.663.178	57.428.270	0	0	26.418.322	0	353.816.586	1.224.579.627	66.185.561	0	0	197.225.371	7.153.180	954.015.515
28	441.513.108	57.428.270	0	0	26.418.322	0	357.666.516	1.200.845.184	66.185.561	0	0	53.517.133	7.153.180	1.073.989.311
29	427.106.102	57.428.270	0	0	26.418.322	0	343.259.510	1.157.625.730	66.185.561	0	0	53.669.119	12.642.585	1.025.128.466
30	420.460.508	57.428.270	0	0	26.418.322	0	336.613.916	1.120.249.811	66.185.561	0	0	52.345.899	7.153.180	994.565.171

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
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

CUADRO 15.7.2-6
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO
PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 3 – PRECIOS SOCIALES (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 8 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 10 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	224.786.172	57.551.770	0	0	26.418.322	0	140.816.080	283.488.605	57.551.770	0	0	26.418.322	0	199.518.513
2	224.786.172	57.551.770	0	0	26.418.322	0	140.816.080	283.488.605	57.551.770	0	0	26.418.322	0	199.518.513
3	224.786.172	57.551.770	17.263.332	0	26.418.322	0	123.552.748	283.488.605	57.551.770	23.117.047	0	26.418.322	0	176.401.466
4	281.871.451	59.526.102	14.409.078	23.443.397	60.559.611	15.149.723	108.783.540	356.000.191	61.813.249	19.294.960	29.568.266	76.151.294	19.721.070	149.451.353
5	415.793.524	63.474.769	14.401.935	46.886.737	110.594.323	8.285.582	172.150.178	525.501.737	70.336.192	19.285.389	59.136.447	139.406.015	10.785.717	226.551.977
6	631.622.828	69.397.779	14.389.604	70.330.116	165.031.097	8.285.582	304.188.649	798.269.097	83.120.600	19.268.878	88.704.690	208.231.665	10.785.717	388.157.547
7	934.840.406	77.295.119	14.396.085	93.773.507	223.870.009	8.285.582	517.220.103	1.181.101.051	100.166.482	19.277.555	118.272.948	282.628.363	10.785.717	649.969.985
8	1.091.085.897	78.002.841	14.402.819	24.211.543	60.884.313	8.285.582	905.298.798	1.381.367.346	103.234.694	19.286.570	32.229.884	77.128.017	10.785.717	1.138.702.464
9	1.196.557.444	78.710.567	0	24.211.543	61.083.796	14.643.999	1.017.907.540	1.518.901.040	106.302.951	0	32.229.884	77.431.990	19.062.751	1.283.873.465
10	1.256.054.190	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.109.710.971	1.592.871.473	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.400.997.255
11	1.305.431.046	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.159.087.827	1.654.164.546	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.462.290.328
12	1.341.729.670	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.195.386.452	1.699.306.819	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.507.432.601
13	1.360.069.436	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.213.726.217	1.722.178.635	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.530.304.417
14	1.379.035.922	78.710.567	0	0	59.347.070	14.643.999	1.226.334.287	1.745.772.277	106.302.951	0	0	74.785.550	19.062.751	1.545.621.025
15	1.393.711.310	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.247.368.091	1.764.024.695	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.572.150.477
16	1.399.198.886	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.252.855.668	1.770.861.681	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.578.987.462
17	1.406.825.903	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.260.482.685	1.780.336.639	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.588.462.420
18	1.416.086.715	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.269.743.497	1.791.814.648	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.599.940.430
19	1.424.572.144	78.710.567	0	0	59.347.070	15.149.723	1.271.364.785	1.802.340.267	106.302.951	0	0	74.785.550	19.721.070	1.601.530.696
20	1.421.174.636	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.274.831.417	1.798.171.190	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.606.296.972
21	1.413.957.134	78.710.567	0	0	198.937.359	8.285.582	1.128.023.625	1.789.111.262	106.302.951	0	0	247.485.627	10.785.717	1.424.536.967
22	1.405.679.773	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.259.336.554	1.778.735.043	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.586.860.825
23	1.412.050.730	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.265.707.512	1.786.658.649	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.594.784.431
24	1.414.916.995	78.710.567	0	0	60.559.611	14.643.999	1.261.002.819	1.790.245.873	106.302.951	0	0	76.151.294	19.062.751	1.588.728.877
25	1.418.776.379	78.710.567	0	0	110.594.323	8.285.582	1.221.185.907	1.795.054.205	106.302.951	0	0	139.406.015	10.785.717	1.538.559.522
26	1.420.621.386	78.710.567	0	0	165.031.097	8.285.582	1.168.594.140	1.797.312.309	106.302.951	0	0	208.231.665	10.785.717	1.471.991.975
27	1.392.183.799	78.710.567	0	0	223.870.009	8.285.582	1.081.317.641	1.762.092.988	106.302.951	0	0	282.628.363	10.785.717	1.362.375.957
28	1.365.588.143	78.710.567	0	0	60.884.313	8.285.582	1.217.707.681	1.729.189.039	106.302.951	0	0	77.128.017	10.785.717	1.534.972.354
29	1.317.107.206	78.710.567	0	0	61.083.796	14.643.999	1.162.668.845	1.669.108.181	106.302.951	0	0	77.431.990	19.062.751	1.466.310.490
30	1.275.170.573	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.128.827.355	1.617.116.689	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.425.242.470
30	1.331.580.276	78.710.567	0	0	59.347.070	8.285.582	1.185.237.057	1.686.791.567	106.302.951	0	0	74.785.550	10.785.717	1.494.917.349

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.7.2-6
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 3 – PRECIOS SOCIALES (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 12 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 12,6 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	316.683.825	57.551.770	0	0	26.418.322	0	232.713.733	318.227.503	57.551.770	0	0	26.418.322	0	234.257.411
2	316.683.825	57.551.770	0	0	26.418.322	0	232.713.733	318.227.503	57.551.770	0	0	26.418.322	0	234.257.411
3	316.683.825	57.551.770	26.429.962	0	26.418.322	0	206.283.771	318.227.503	57.551.770	26.585.412	0	26.418.322	0	207.671.999
4	397.910.151	63.109.783	22.060.129	33.025.947	84.971.821	22.302.912	172.439.559	399.855.719	63.170.029	22.189.877	33.187.382	85.375.028	22.424.409	173.508.994
5	587.516.161	74.225.786	22.049.185	66.051.793	155.704.743	12.197.763	257.286.891	590.388.066	74.406.523	22.178.869	66.374.662	156.449.594	12.264.212	258.714.206
6	892.459.838	90.899.774	22.030.307	99.077.716	232.669.769	12.197.763	435.584.510	896.813.771	91.261.248	22.159.880	99.562.020	233.786.464	12.264.212	437.779.948
7	1.320.285.709	113.131.769	22.040.228	132.103.654	315.867.044	12.197.763	724.945.252	1.326.711.534	113.734.226	22.169.859	132.749.393	317.385.785	12.264.212	728.408.060
8	1.545.378.757	117.537.437	22.050.533	36.723.823	86.319.699	12.197.763	1.270.549.501	1.552.953.175	118.203.385	22.180.225	36.944.501	86.740.365	12.264.212	1.276.620.487
9	1.700.972.460	121.943.176	0	36.723.823	86.683.042	21.558.409	1.434.064.011	1.709.385.621	122.672.616	0	36.944.501	87.106.478	21.675.850	1.440.986.175
10	1.783.134.711	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.565.474.052	1.791.923.394	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.573.067.532
11	1.851.171.732	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.633.511.073	1.860.269.482	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.641.413.619
12	1.901.319.388	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.683.658.729	1.910.646.602	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.691.790.740
13	1.926.756.544	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.709.095.885	1.936.201.418	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.717.345.556
14	1.952.969.118	121.943.176	0	0	83.519.720	21.558.409	1.725.947.814	1.962.534.059	122.672.616	0	0	83.919.035	21.675.850	1.734.266.558
15	1.973.246.093	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.755.585.434	1.982.903.847	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.764.047.985
16	1.980.846.876	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.763.186.217	1.990.539.656	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.771.683.794
17	1.991.367.701	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.773.707.042	2.001.108.419	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.782.252.556
18	2.004.100.454	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.786.439.795	2.013.898.659	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.795.042.797
19	2.015.780.680	121.943.176	0	0	83.519.720	22.302.912	1.788.014.873	2.025.631.793	122.672.616	0	0	83.919.035	22.424.409	1.796.615.734
20	2.011.175.137	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.793.514.478	2.021.006.290	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.802.150.427
21	2.001.072.076	121.943.176	0	0	274.955.788	12.197.763	1.591.975.349	2.010.855.335	122.672.616	0	0	276.213.240	12.264.212	1.599.705.267
22	1.989.507.595	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.771.846.936	1.999.236.307	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.780.380.445
23	1.998.309.980	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.780.649.321	2.008.078.980	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.789.223.118
24	2.002.305.350	121.943.176	0	0	84.971.821	21.558.409	1.773.831.944	2.012.093.080	122.672.616	0	0	85.375.028	21.675.850	1.782.369.586
25	2.007.650.810	121.943.176	0	0	155.704.743	12.197.763	1.717.805.128	2.017.463.172	122.672.616	0	0	156.449.594	12.264.212	1.726.076.750
26	2.010.142.571	121.943.176	0	0	232.669.769	12.197.763	1.643.331.863	2.019.965.612	122.672.616	0	0	233.786.464	12.264.212	1.651.242.321
27	1.971.085.485	121.943.176	0	0	315.867.044	12.197.763	1.521.077.502	1.980.732.718	122.672.616	0	0	317.385.785	12.264.212	1.528.410.106
28	1.934.611.832	121.943.176	0	0	86.319.699	12.197.763	1.714.151.193	1.944.095.567	122.672.616	0	0	86.740.365	12.264.212	1.722.418.374
29	1.867.966.448	121.943.176	0	0	86.683.042	21.558.409	1.637.781.821	1.877.149.427	122.672.616	0	0	87.106.478	21.675.850	1.645.694.483
30	1.810.284.710	121.943.176	0	0	83.519.720	12.197.763	1.592.624.051	1.819.206.970	122.672.616	0	0	83.919.035	12.264.212	1.600.351.108

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 15.7.2-6
FLUJOS AGROECONÓMICOS SITUACIÓN SIN PROYECTO Y CON PROYECTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE EMBALSE – ESCENARIO 3 – PRECIOS SOCIALES (CONTINUACIÓN)

Año	Situación Con Proyecto Volumen Umbral 14 hm3 ($)							Situación Con Proyecto Volumen Umbral 18,1 hm3 ($)						
	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto	Margen Bruto	Gastos Indirectos	Asistencia Técnica	Habilitación de Suelos	Riego Presurizado	Organización Usuarios	Margen Neto
1	335.464.742	57.551.770	0	0	26.418.322	0	251.494.650	415.284.558	57.551.770	0	0	26.418.322	0	331.314.466
2	335.464.742	57.551.770	0	0	26.418.322	0	251.494.650	415.284.558	57.551.770	0	0	26.418.322	0	331.314.466
3	335.464.742	57.551.770	28.307.037	0	26.418.322	0	223.187.614	415.284.558	57.551.770	36.267.302	0	26.418.322	0	295.047.164
4	421.620.309	63.843.691	23.626.854	34.983.274	89.955.803	23.765.955	185.444.732	522.405.034	66.955.546	30.270.996	43.306.463	111.156.268	29.978.494	240.737.267
5	622.595.940	76.427.506	23.615.132	69.966.437	164.914.586	12.997.923	274.674.355	771.739.412	85.763.049	30.255.973	86.612.777	204.089.343	16.395.649	348.622.621
6	945.734.946	95.303.207	23.594.914	104.949.685	246.479.103	12.997.923	462.410.115	1.172.270.459	113.974.260	30.230.070	129.919.208	305.217.340	16.395.649	576.533.932
7	1.399.003.150	120.470.822	23.605.538	139.932.949	334.649.512	12.997.923	767.346.405	1.733.756.241	151.589.235	30.243.681	173.225.659	414.540.482	16.395.649	947.761.534
8	1.638.147.959	125.635.293	23.616.575	39.282.038	91.514.378	12.997.923	1.345.101.752	2.032.687.160	159.964.726	30.257.820	50.151.096	113.602.713	16.395.649	1.662.315.155
9	1.803.971.145	130.799.848	0	39.282.038	91.911.364	22.972.615	1.519.005.280	2.242.032.103	168.340.359	0	50.151.096	114.141.945	28.977.774	1.880.420.928
10	1.890.761.503	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.658.508.591	2.348.508.447	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.054.325.133
11	1.962.608.460	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.730.355.548	2.436.562.702	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.142.379.388
12	2.015.584.017	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.783.331.105	2.501.566.733	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.207.383.418
13	2.042.470.634	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.810.217.721	2.534.617.651	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.240.434.336
14	2.070.162.842	130.799.848	0	0	88.455.142	22.972.615	1.827.935.238	2.568.603.386	168.340.359	0	0	109.447.306	28.977.774	2.261.837.947
15	2.091.583.637	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.859.330.724	2.594.889.396	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.300.706.082
16	2.099.615.967	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.867.363.054	2.604.757.119	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.310.573.805
17	2.110.727.659	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.878.474.746	2.618.382.221	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.324.198.906
18	2.124.169.236	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.891.916.323	2.634.839.378	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.340.656.063
19	2.136.501.734	130.799.848	0	0	88.455.142	23.765.955	1.893.480.789	2.649.946.729	168.340.359	0	0	109.447.306	29.978.494	2.342.180.570
20	2.131.649.701	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.899.396.788	2.644.045.392	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.349.862.078
21	2.120.957.148	130.799.848	0	0	290.474.900	12.997.923	1.686.684.478	2.630.846.720	168.340.359	0	0	356.498.520	16.395.649	2.089.612.192
22	2.108.721.184	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.876.468.272	2.615.755.860	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.321.572.546
23	2.118.020.057	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.885.767.144	2.627.166.531	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.332.983.217
24	2.122.246.058	130.799.848	0	0	89.955.803	22.972.615	1.878.517.792	2.632.373.178	168.340.359	0	0	111.156.268	28.977.774	2.323.898.777
25	2.127.894.996	130.799.848	0	0	164.914.586	12.997.923	1.819.182.638	2.639.312.825	168.340.359	0	0	204.089.343	16.395.649	2.250.487.474
26	2.130.518.700	130.799.848	0	0	246.479.103	12.997.923	1.740.241.827	2.642.498.311	168.340.359	0	0	305.217.340	16.395.649	2.152.544.962
27	2.089.293.649	130.799.848	0	0	334.649.512	12.997.923	1.610.846.366	2.592.049.579	168.340.359	0	0	414.540.482	16.395.649	1.992.773.088
28	2.050.803.522	130.799.848	0	0	91.514.378	12.997.923	1.815.491.373	2.544.979.764	168.340.359	0	0	113.602.713	16.395.649	2.246.641.042
29	1.980.449.746	130.799.848	0	0	91.911.364	22.972.615	1.734.765.919	2.458.849.113	168.340.359	0	0	114.141.945	28.977.774	2.147.389.034
30	1.919.553.471	130.799.848	0	0	88.455.142	12.997.923	1.687.300.559	2.384.277.328	168.340.359	0	0	109.447.306	16.395.649	2.090.094.014

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.7.2-7
FLUJOS AGROECONÓMICOS NETOS PARA DISTINTOS TAMAÑOS DE EMBALSE
ESCENARIO 2

Año	Precios Privados o de Mercado ($)							Precios Sociales ($)						
	6,9	8,0	10,0	12,0	12,6	14,0	18,7	6,9	8,0	10,0	12,0	12,6	14,0	18,7
1	-174.181.860	-147.361.638	-102.374.653	-73.226.933	-64.226.924	-43.028.770	0	-213.200.879	-180.373.322	-125.307.775	-89.633.962	-78.614.307	-52.670.036	0
2	-151.814.964	-124.994.743	-80.007.758	-50.860.037	-41.860.029	-20.661.875	22.366.895	-190.989.094	-158.161.537	-103.095.990	-67.422.177	-56.402.521	-30.458.250	22.211.786
3	-170.076.253	-146.432.328	-106.777.237	-81.079.597	-73.152.488	-54.459.738	-16.534.144	-209.559.594	-179.908.334	-130.174.680	-97.950.948	-88.004.192	-64.565.325	-16.998.466
4	-199.555.197	-185.387.429	-161.627.082	-146.230.267	-141.482.671	-130.278.878	-107.556.538	-222.926.032	-200.170.909	-162.005.261	-137.277.716	-129.646.207	-111.656.173	-75.154.803
5	-187.263.091	-170.875.445	-143.393.575	-125.587.023	-120.097.626	-107.135.274	-80.855.823	-185.079.609	-155.842.602	-106.807.833	-75.037.834	-65.236.551	-42.117.883	4.776.075
6	-108.891.108	-83.978.428	-42.203.137	-15.132.010	-6.792.009	12.917.100	52.862.195	-68.154.780	-24.356.874	49.093.835	96.689.114	111.363.422	146.001.534	216.241.649
7	24.045.695	65.579.031	135.223.353	180.359.203	194.260.253	227.119.029	293.711.572	114.568.159	182.819.058	297.274.155	371.447.440	394.307.241	448.288.195	557.737.573
8	350.996.170	444.424.737	601.097.907	702.651.894	733.936.078	807.828.902	957.649.929	427.497.317	545.662.504	743.826.479	872.258.919	911.842.224	1.005.290.177	1.194.793.806
9	655.119.811	760.029.583	935.962.729	1.049.982.833	1.085.123.890	1.168.093.282	1.336.335.266	692.957.406	824.176.070	1.044.238.067	1.186.841.605	1.230.811.001	1.334.578.666	1.545.026.394
10	496.349.105	613.878.472	810.982.727	938.705.045	978.087.823	1.071.031.658	1.259.523.818	584.335.589	728.349.479	969.876.896	1.126.373.683	1.174.643.252	1.288.524.506	1.519.503.689
11	524.208.100	647.936.549	855.436.074	989.899.449	1.031.357.479	1.129.203.203	1.327.636.457	614.951.326	765.734.093	1.018.612.284	1.182.469.738	1.233.005.324	1.352.239.018	1.594.073.059
12	555.540.809	683.885.772	899.127.010	1.038.610.450	1.081.614.373	1.183.110.244	1.388.947.189	649.049.395	804.855.723	1.066.158.226	1.235.478.373	1.287.696.158	1.410.901.836	1.660.792.366
13	584.754.276	715.474.141	934.698.175	1.076.764.075	1.120.563.564	1.223.936.966	1.433.582.964	680.677.475	839.058.213	1.104.678.107	1.276.797.654	1.329.877.859	1.455.118.777	1.709.138.369
14	712.011.670	844.202.480	1.065.892.094	1.209.559.079	1.253.849.111	1.358.386.503	1.570.389.723	798.908.100	958.927.023	1.227.292.964	1.401.195.452	1.454.822.224	1.581.359.346	1.838.004.392
15	642.886.059	777.964.438	1.004.497.526	1.151.302.936	1.196.561.925	1.303.381.477	1.520.017.401	741.823.447	904.864.508	1.178.299.602	1.355.486.844	1.410.127.655	1.539.053.322	1.800.546.907
16	669.135.048	804.918.092	1.032.632.917	1.180.204.580	1.225.699.602	1.333.076.260	1.550.842.357	768.946.973	932.754.557	1.207.475.122	1.385.495.882	1.440.393.441	1.569.925.123	1.832.648.087
17	660.547.047	797.284.580	1.026.600.015	1.175.209.609	1.221.024.206	1.329.155.586	1.548.452.384	763.269.949	928.127.238	1.204.608.083	1.383.770.316	1.439.019.325	1.569.381.022	1.833.787.379
18	690.361.540	828.239.037	1.059.466.033	1.209.315.269	1.255.511.403	1.364.544.271	1.585.669.068	789.359.001	955.475.740	1.234.068.508	1.414.600.317	1.470.270.854	1.601.628.528	1.868.054.489
19	656.353.157	794.201.733	1.025.378.919	1.175.198.410	1.221.382.534	1.330.393.680	1.551.470.006	759.711.355	925.918.008	1.204.660.237	1.385.291.526	1.440.989.830	1.572.419.754	1.838.987.806
20	669.518.152	807.990.776	1.040.215.869	1.190.712.232	1.237.107.808	1.346.611.103	1.568.690.499	773.011.049	939.848.426	1.219.649.767	1.400.965.185	1.456.877.194	1.588.804.532	1.856.386.378
21	1.011.351.275	1.130.003.371	1.328.992.922	1.457.935.493	1.497.698.494	1.591.526.716	1.781.824.029	1.066.055.644	1.213.038.921	1.459.548.354	1.619.273.488	1.668.541.569	1.784.767.375	2.020.513.178
22	629.249.751	765.502.581	994.004.760	1.142.087.387	1.187.738.951	1.295.487.655	1.514.006.337	731.631.150	896.229.669	1.172.275.999	1.351.156.983	1.406.318.377	1.536.476.222	1.800.466.546
23	636.317.383	773.624.317	1.003.894.158	1.153.123.041	1.199.127.535	1.307.709.727	1.527.918.866	737.173.117	902.653.606	1.180.178.964	1.360.019.014	1.415.475.749	1.546.330.940	1.811.735.717
24	630.627.566	767.218.831	996.287.865	1.144.739.960	1.190.503.590	1.298.520.252	1.517.580.718	731.613.300	896.407.994	1.172.782.637	1.351.878.387	1.407.104.250	1.537.417.540	1.801.721.543
25	581.086.532	712.318.679	932.400.563	1.075.023.827	1.118.992.788	1.222.772.850	1.433.238.187	680.440.795	839.913.182	1.107.362.389	1.280.669.339	1.334.112.834	1.460.218.650	1.715.986.530
26	526.906.848	650.911.998	858.872.955	993.637.854	1.035.184.171	1.133.252.080	1.332.124.391	625.704.514	777.957.454	1.033.298.385	1.198.755.184	1.249.778.546	1.370.178.192	1.614.365.137
27	458.740.709	571.329.846	760.145.409	882.496.664	920.218.180	1.009.261.348	1.189.823.167	554.124.046	694.468.091	929.837.197	1.082.344.356	1.129.378.061	1.240.363.108	1.465.449.311
28	574.355.884	706.016.813	926.817.966	1.069.907.438	1.114.020.352	1.218.139.151	1.429.292.541	665.177.756	823.948.366	1.090.221.143	1.262.764.867	1.315.974.077	1.441.524.462	1.696.167.642
29	536.851.082	660.562.140	868.031.137	1.002.477.217	1.043.927.013	1.141.760.248	1.340.163.401	630.828.651	781.960.473	1.035.422.666	1.199.661.299	1.250.311.390	1.369.822.309	1.612.213.964
30	509.254.063	628.350.539	828.084.408	957.510.421	997.420.727	1.091.601.477	1.282.609.845	606.581.299	753.508.702	999.923.488	1.159.588.098	1.208.835.864	1.325.018.743	1.560.673.214

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 15.7.2-8
FLUJOS AGROECONÓMICOS NETOS PARA DISTINTOS TAMAÑOS DE EMBALSE
ESCENARIO 3

Año	Precios Privados o de Mercado ($)							Precios Sociales ($)						
	6,9	8,0	10,0	12,0	12,6	14,0	18,7	6,9	8,0	10,0	12,0	12,6	14,0	18,7
1	-173.837.177	-152.116.137	-104.203.326	-77.107.716	-75.849.699	-61.780.280	3.369.900	-212.671.615	-186.060.500	-127.358.067	-94.162.846	-92.619.168	-75.381.929	4.437.887
2	-151.470.282	-129.749.241	-81.836.431	-54.740.821	-53.482.803	-39.413.384	25.736.795	-190.459.829	-163.848.714	-105.146.281	-71.951.061	-70.407.383	-53.170.144	26.649.672
3	-170.043.435	-150.977.011	-108.917.915	-85.135.220	-84.032.653	-71.684.858	-14.494.944	-209.342.195	-185.385.695	-132.536.978	-102.654.672	-101.266.444	-85.750.830	-13.891.279
4	-199.799.487	-188.445.957	-163.394.800	-149.235.029	-148.576.864	-141.225.972	-107.165.481	-222.626.120	-204.194.544	-163.526.731	-140.538.525	-139.469.090	-127.533.352	-72.240.817
5	-185.021.998	-171.110.648	-140.398.627	-123.055.121	-122.249.307	-113.243.629	-71.502.001	-181.557.986	-156.909.732	-102.507.933	-71.773.019	-70.345.704	-54.385.555	19.562.711
6	-102.374.123	-80.274.924	-31.476.756	-3.929.852	-2.654.956	11.651.002	77.961.420	-59.245.976	-21.206.768	62.762.130	110.189.093	112.384.531	137.014.698	251.138.515
7	36.864.523	74.295.671	156.946.232	203.604.584	205.757.962	229.990.552	342.299.209	131.264.624	191.401.191	324.151.074	399.126.340	402.589.148	441.527.493	621.942.622
8	379.179.720	463.163.202	648.529.655	753.241.352	758.054.179	812.440.641	1.064.366.251	461.639.837	567.385.896	800.789.563	932.636.600	938.707.585	1.007.188.850	1.324.402.254
9	694.825.293	791.641.320	1.005.376.856	1.126.073.974	1.131.627.139	1.194.325.020	1.484.763.987	740.635.650	861.108.566	1.127.074.491	1.277.265.037	1.284.187.202	1.362.206.306	1.723.621.955
10	539.805.581	647.943.409	886.690.088	1.021.498.716	1.027.715.243	1.097.744.428	1.422.163.864	635.761.546	767.696.411	1.058.982.695	1.223.459.492	1.231.052.972	1.316.494.031	1.712.310.573
11	567.546.533	680.634.490	930.294.295	1.071.279.163	1.077.778.737	1.151.014.084	1.490.276.502	666.248.387	803.588.382	1.106.790.883	1.278.011.628	1.285.914.174	1.374.856.103	1.786.879.943
12	598.791.255	715.565.742	973.352.617	1.118.937.294	1.125.647.740	1.201.270.978	1.551.587.235	700.250.710	841.602.284	1.153.648.433	1.329.874.561	1.338.006.571	1.429.546.937	1.853.599.250
13	627.959.403	746.630.459	1.008.598.168	1.156.549.367	1.163.368.351	1.240.220.169	1.596.223.010	731.829.661	875.237.134	1.191.815.333	1.370.606.802	1.378.856.472	1.471.728.638	1.901.945.253
14	754.938.593	874.706.022	1.139.087.858	1.288.407.727	1.295.288.140	1.372.849.956	1.732.138.445	849.778.890	994.416.292	1.313.703.031	1.494.029.819	1.502.348.563	1.596.017.243	2.029.919.952
15	686.008.116	808.159.675	1.077.800.260	1.230.094.201	1.237.112.271	1.316.218.530	1.682.657.446	792.886.803	940.015.801	1.264.798.186	1.448.233.143	1.456.695.694	1.551.978.434	1.993.353.791
16	712.243.662	834.957.952	1.105.839.049	1.258.835.153	1.265.885.423	1.345.356.207	1.713.482.403	819.995.707	967.736.833	1.293.868.628	1.478.067.382	1.486.564.960	1.582.244.220	2.025.454.971
17	703.637.479	827.113.964	1.099.675.378	1.253.622.483	1.260.716.343	1.340.680.811	1.711.092.430	814.298.687	962.878.042	1.290.857.777	1.476.102.399	1.484.647.913	1.580.870.104	2.026.594.263
18	733.430.280	857.817.033	1.132.385.295	1.287.468.104	1.294.613.997	1.375.168.008	1.748.309.114	840.363.774	989.948.806	1.320.145.739	1.506.645.104	1.515.248.106	1.612.121.633	2.060.861.373
19	699.152.407	823.431.546	1.097.759.584	1.252.708.811	1.259.847.139	1.340.331.220	1.713.147.832	810.444.376	960.016.686	1.290.182.597	1.476.666.773	1.485.267.634	1.582.132.690	2.030.832.470
20	712.575.521	837.437.558	1.113.053.488	1.268.729.381	1.275.902.489	1.356.764.413	1.731.330.544	824.002.058	974.162.602	1.305.628.156	1.492.845.662	1.501.481.612	1.598.727.973	2.049.193.263
21	1.054.785.572	1.163.821.160	1.404.543.971	1.540.474.269	1.546.742.900	1.617.355.099	1.944.464.075	1.117.424.241	1.251.731.495	1.548.244.837	1.715.683.219	1.723.413.137	1.810.392.348	2.213.320.062
22	672.349.553	795.438.774	1.067.146.962	1.220.610.608	1.227.682.189	1.307.395.556	1.676.646.382	782.664.996	931.037.439	1.258.561.709	1.443.547.820	1.452.081.329	1.548.169.156	1.993.273.430
23	679.397.103	803.328.068	1.076.891.941	1.231.405.843	1.238.525.563	1.318.784.140	1.690.558.912	788.190.153	937.266.895	1.266.343.814	1.452.208.705	1.460.782.501	1.557.326.528	2.004.542.601
24	673.516.481	796.812.303	1.068.972.722	1.222.695.042	1.229.777.246	1.309.624.555	1.679.492.709	782.438.963	930.904.415	1.258.630.474	1.443.733.541	1.452.271.183	1.548.419.389	1.993.800.373
25	622.661.140	741.232.375	1.002.975.546	1.150.803.746	1.157.618.253	1.234.404.218	1.590.108.093	729.951.455	873.721.708	1.191.095.322	1.370.340.928	1.378.612.551	1.471.718.439	1.903.023.274
26	566.796.951	679.024.784	926.778.883	1.066.693.853	1.073.146.854	1.145.822.541	1.482.506.641	673.530.527	810.963.403	1.114.361.239	1.285.701.126	1.293.611.585	1.382.611.090	1.794.914.226
27	496.870.323	599.360.944	825.643.227	953.410.819	959.308.443	1.025.675.725	1.333.163.520	600.198.929	727.501.055	1.008.559.371	1.167.260.916	1.174.593.520	1.257.029.780	1.638.956.502
28	617.543.387	736.965.452	1.000.589.984	1.149.477.643	1.156.339.284	1.233.676.957	1.591.932.586	716.322.794	860.041.164	1.177.305.838	1.356.484.677	1.364.751.858	1.457.824.856	1.888.974.526
29	579.939.749	692.935.455	942.389.304	1.083.259.618	1.089.752.563	1.162.927.858	1.501.912.122	681.868.956	819.409.335	1.123.050.980	1.294.522.311	1.302.434.973	1.391.506.409	1.804.129.524
30	552.680.165	662.070.191	903.575.429	1.039.947.441	1.046.236.082	1.117.077.332	1.445.249.891	657.951.255	792.213.439	1.088.628.554	1.256.010.134	1.263.737.192	1.350.686.643	1.753.480.098

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

15.7.3. Beneficios por Suministro de Agua Potable

Parte de la evaluación económica es estimar los beneficios secundarios generados por la construcción de una obra como el embalse proyectado en el presente estudio. Dado que los objetivos del estudio son orientados al mejoramiento del sistema de riego de la quebrada de Vítor, el suministro de Agua Potable es considerado un beneficio secundario.

En la quebrada de Umirpa la mayoría de las localidades presentan APR's (Codpa y Guañacagua, etc.) y en otras como Chaca el sistema de agua potable rural se ha inaugurado recientemente, por lo que el beneficio sólo sería complementario en periodos de sequía. Los caudales en total son de 1,25 L/s considerando una dotación diaria de 120 L/hab/día. En el Cuadro 15.7.3-1 se incluyen los caudales desglosados por localidad.

Cabe indicar que en el valle se siguen realizando trabajos e invirtiendo en el desarrollo de los sistemas de suministro de Agua Potable, como por ejemplo se ha publicado en el Diario Online de Aricaregional.cl que en el sector de Cerro Blanco se ha acordado, en reunión entre los dirigentes del sector y el Seremi de OO.PP. Guillermo Beretta, someter a trabajos el sistema de agua, por el personal de la dirección de Obras Hidráulicas del MOP, para dejarlo operativo (mejoramiento de captación y cambio de válvulas). Además se realizará un estudio del sistema para obtener mejores alternativas de solución al problema de hídrico.

CUADRO 15.7.3-1
CAUDALES PARA AGUA POTABLE RURAL

Caseríos	L/día	L/s
Chitita	8.100	0,09
Codpa	42.930	0,50
Guañacagua	17.280	0,20
Guatanave	8.910	0,10
Marquirave	3.240	0,04
Poroma	540	0,01
Cerro Blanco	2.160	0,03
Chaca	25.110	0,29
TOTAL	108.270	1,25

Fuente: Reporte Comunal MOP.

Dado lo anterior no se considerará un posible beneficio por suministro de agua potable en este estudio.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

15.7.4. Beneficios por Generación Hidroeléctrica

Al igual que el Suministro de Agua Potable el beneficio por generación Hidroeléctrica es considerado un beneficio secundario. En este caso sólo se analizó la utilización local de la energía generada, ya que en el Capítulo 11 del presente estudio se determinó la infactibilidad de la conexión de las MCH al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).

Los puntos en donde se proyectó la instalación de una MCH fueron al pie del muro en el sector de Umirpa y al final de conducción Ofragía – Chaca. El primer punto se incluye en los escenarios 2 y 3 mientras que el segundo sólo en el escenario 3.

En el Cuadro 15.7.4-1 se incluyen los costos totales, costos de operación y beneficios de las distintas alternativas analizadas en el Anexo 15-4. Se observa que en el caso de generar al pie del muro, los costos de operación serán mayores a los beneficios por lo que se descarta su evaluación. Ahora bien, para la alternativa de generación en Chaca se ha realizado una evaluación para las distintas capacidades de embalse a 30 años, con una tasa de descuento del 12% para el mercado privado y un 6% para su evaluación social, los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 15.7.4-1.

CUADRO 15.7.4-2
COSTOS Y BENEFICIOS

Volumen Umbral (hm3)	Ubicación	Costo Total Final MCH (+0.15+0.45)	Costo Op. y Mant. MCH anual	Beneficio Anual ($/año)	Diferencia Beneficio Anual - Costo Op y Mant. MCH ($/año)
Escenario 2 o 3					
6,9	Al pie	200.444.657	22.550.024	$ 4.692.269	-$ 17.857.755
8,0	Al pie	206.354.986	23.214.936	$ 5.651.163	-$ 17.563.773
10,0	Al pie	217.081.137	24.421.628	$ 7.625.796	-$ 16.795.832
12,0	Al pie	226.712.784	25.505.188	$ 9.089.073	-$ 16.416.115
12,6	Al pie	229.120.695	25.776.078	$ 9.339.515	-$ 16.436.563
14,0	Al pie	236.344.430	26.588.748	$ 10.273.476	-$ 16.315.273
18,1	Al pie	256.483.328	28.854.374	$ 13.452.940	-$ 15.401.434
Escenario 3					
6,9	Chaca	278.534.666	29.246.140	$ 20.426.333	-$ 8.819.807
8,0	Chaca	296.156.201	26.654.058	$ 22.753.663	-$ 3.900.395
10,0	Chaca	334.817.088	30.133.538	$ 28.671.760	-$ 1.461.777
12,0	Chaca	346.309.394	31.167.845	$ 31.393.667	$ 225.822
12,6	Chaca	351.891.371	31.670.223	$ 31.550.857	-$ 119.366
14,0	Chaca	357.363.897	32.162.751	$ 32.933.461	$ 770.710
18,1	Chaca	409.159.450	33.755.655	$ 40.468.372	$ 6.712.718

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.7.4-3
EVALUACIÓN A 30 AÑOS MCH EN CHACA

Capa-cidad	Año	Ítems Evaluación ($)						
		Inversión	Costo de Operación	Beneficio Energía	Beneficio Potencia	Flujo Neto	VAN	
							Privado (12%)	Social (6%)
Cap. 6,9	0	-278.534.666				-278.534.666	-349.579.835	-399.937.822
	1 a 30		-29.246.140	16.515.369	3.910.964	-8.819.807		
Cap. 8,0	0	-296.156.201				-296.156.201	-327.574.598	-349.844.475
	1 a 30		-26.654.058	18.150.759	4.602.904	-3.900.395		
Cap. 10,0	0	-334.817.088				-334.817.088	-346.591.975	-354.938.209
	1 a 30		-30.133.538	22.895.567	5.776.193	-1.461.777		
Cap. 12,0	0	-346.309.394				-346.309.394	-344.490.357	-343.200.994
	1 a 30		-31.167.845	25.166.209	6.227.458	225.822		
Cap. 12,6	0	-351.891.371				-351.891.371	-352.852.888	-353.534.428
	1 a 30		-31.670.223	25.104.213	6.446.644	-119.366		
Cap. 14,0	0	-357.363.897				-357.363.897	-351.155.685	-346.755.203
	1 a 30		-32.162.751	26.271.929	6.661.532	770.710		
Cap. 18,1	0	-409.159.450				-409.159.450	-355.087.275	-316.760.026
	1 a 30		-33.755.655	31.804.082	8.664.290	6.712.718		

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la MCH no es rentable para ninguno de los escenarios analizados ya que el valor del VAN está muy por bajo de cero.

Se realizó el ejercicio para obtener el precio mínimo de la energía que hace rentable el proyecto de la MCH considerando el tamaño mayor de embalse (Cap. 18,1). Se obtuvo un precio igual a 59,04 $/kW/año para la evaluación social y un precio de 81,74 $/kW/año para el mercado privado, es decir, un aumento porcentual del precio del Nudo Encuentro (34,25 $/kW/año) de 72,4% y 138,6% respectivamente.

Dado los resultados expuestos en los acápites anteriores la proyección de una MCH es inviable bajo todos los escenarios analizados, y por tanto no se incluirá en la evaluación económica del estudio.

15.7.5. Beneficios por Control de Crecidas (Daño Evitado)

Otro beneficio, en términos de magnitud económica secundario, de las obras proyectadas en la quebrada de Vítor es el Control de Crecidas.

En el Capítulo 12, se pudo apreciar que el efecto regulador del embalse es alto sin necesidad de aumentar su cota de coronamiento, es decir, la sola inclusión de un muro genera beneficios sobre el valle, ya que este será sometido a caudales menores a los esperados. De lo anterior se concluye que la frecuencia de desbordes del río disminuirá al

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

igual que los daños provocados por dicho efecto. El beneficio fue calculado como se indica en el Anexo 15-3 y el resumen de los resultados se presenta en el Cuadro 15.7.5-1.

CUADRO 15.7.5-1
BENEFICIADA ANUAL

Capacidad	Área beneficiada final (ha)	Valor ha ($/ha)	Beneficio Anual ($)
Cap. 6.9	1,18	$ 4.800.000	$ 5.644.002
Cap. 8.0	1,20	$ 4.800.000	$ 5.780.461
Cap. 10.0	1,36	$ 4.800.000	$ 6.538.209
Cap. 12.0	1,77	$ 4.800.000	$ 8.484.819
Cap. 12.6	2,06	$ 4.800.000	$ 9.880.614
Cap. 14.0	2,22	$ 4.800.000	$ 10.673.223
Cap. 18.1	2,30	$ 4.800.000	$ 11.024.486

Fuente: Elaboración propia

15.7.6. 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 15.7.6-1 resume la variación del uso del suelo según el tamaño de embalse y escenario, cuyo cambio desde la Situación Actual se estabiliza el año 4, según la gradualidad de incorporación prevista en el estudio agroeconómico.

CUADRO 15.7.6-1
CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Capacidad	Superficie 85% Seguridad de Riego (ha)					
	Escenario 2			Escenario 3		
	Riego	Sin Uso	Total	Riego	Sin Uso	Total
SA-SAO	127,5	422,8	550,3	127,5	464,8	592,3
Cap. 6,9	247,6	302,7	550,3	258,6	333,7	592,3
Cap. 8	294,1	256,2	550,3	299,5	292,8	592,3
Cap. 10	372,3	178,0	550,3	389,7	202,6	592,3
Cap. 12	423,1	127,2	550,3	440,8	151,5	592,3
Cap. 12,6	438,7	111,6	550,3	443,1	149,2	592,3
Cap. 14	475,5	74,8	550,3	469,6	122,7	592,3
Cap. 18,1	550,3	0,0	550,3	592,3	0,0	592,3

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio Agroeconómico

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

Luego de determinar las superficies se realizó una revisión de la compra-venta de terrenos de la base de datos de ODEPA[1] desde el año 2001 y se determinó que el valor del terreno regado corresponde a $4.726.695, el que se aproximó a 4.800.000, en tanto que para terrenos sin uso el valor corresponde a $1.423.225, el que se aproximó a $1.420.000.

15.7.7. Beneficio Asociado a las Transacciones de los Derechos de Aguas

En el método de las transacciones, se compara la Situación Sin Proyecto con la Situación Con Proyecto con respecto al uso y equivalencia de los derechos de aprovechamiento de aguas que les corresponde, determinando un diferencial asociado.

En el valle de Vítor no existe información sobre estudios tarifarios aprobados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), por lo que para tener un valor de referencia se ha utilizado el último estudio tarifario de la empresa sanitaria Aguas del Altiplano[2], en el cual se determinó que el valor del agua cruda para los valles de Lluta y Azapa en base al establecimiento de una relación del valor comercial de las acciones de agua y la disponibilidad de agua correspondiente a esas acciones. Para el valle de Lluta el valor del agua cruda superficial resultó ser 251,0 UF/l/s, en tanto que para el valle de Azapa 1.136,91 UF/l/s. A juicio del consultor el valle de Vítor, y especialmente el sector de Codpa, reúne características de disponibilidad y acceso al agua intermedias, por lo que se decidió utilizar un valor promedio de agua cruda, el que equivale a 693,96 UF/l/s.

A partir de los antecedentes del balance hídrico obtenido en el modelo de simulación hidrológica se determinó el caudal asociado a las transacciones de derechos de agua en el Cuadro 15.7.7-1.

Con estas cifras es posible calcular el beneficio de poder contar con estos nuevos recursos, sin la necesidad de invertir en ellos mediante la compra de derechos de otras fuentes u organizaciones, además aumentar el patrimonio y el volumen para las transacciones mercado interno del sistema de riego.

[1] Que a su vez se confecciona a partir de la información de avisos en la Revista del Campo y clasificados del diario "El Mercurio".

[2] Estudio Tarifario Empresa de Servicios Sanitarios Aguas Del Altiplano S.A. Periodo 2008-2012. IV Proceso (SISS, 2007).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 15.7.7-1
CAUDAL MEDIO ASOCIADO A CADA ALTERNATIVA Y ESCENARIO

Vol. total embalse (Hm3)	Caudal Promedio Entregado (m3/s)	
	Escenario 2	Escenario 3
SA-SAO	0,0412	0,0412
6,9	0,0856	0,0853
8	0,1022	0,0995
10	0,1312	0,1292
12	0,1505	0,1470
12,6	0,1563	0,1481
14	0,1694	0,1574
18,1	0,1960	0,1960

Fuente: Elaboración propia y antecedentes de estudio tarifario de Aguas del Altiplano S.A. 2008-2012 (SISS, 2007).

15.8. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de la evaluación económica para los escenarios y tamaños anteriormente descritos, con sus respectivos costos y beneficios.

La evaluación económica fue realizada con los métodos del Presupuesto (Cuadro 15.8-1), Valor Incremental de la Tierra (Cuadro 15.8-2) y de las Transacciones de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (Cuadro 15.8-3).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.8-1
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA
MÉTODO DEL PRESUPUESTO

Precios de Mercado					
Volumen Umbral (hm3)	VAN (MM $)	VAN/Sup (MM $/ha)	IVAN	n/k	TIR (%)
Escenario 2 (Sin Conducción Ofragía - Chaca)					
Cap. 6.9	-7.809,7	-31,54	-0,97	0,19	1,20%
Cap. 8.0	-7.780,8	-26,46	-0,93	0,22	2,13%
Cap. 10.0	-7.662,0	-20,58	-0,85	0,28	3,38%
Cap. 12.0	-7.839,3	-18,53	-0,82	0,30	3,90%
Cap. 12.6	-7.894,7	-18,00	-0,81	0,31	4,04%
Cap. 14.0	-8.012,5	-16,85	-0,79	0,33	4,36%
Cap. 18.1	-8.604,7	-15,64	-0,77	0,35	4,72%
Escenario 3 (Con Conducción Ofragía - Chaca)					
Cap. 6.9	-10.657,3	-41,21	-0,96	0,16	0,32%
Cap. 8.0	-10.695,2	-35,71	-0,93	0,19	1,11%
Cap. 10.0	-10.555,7	-27,09	-0,86	0,24	2,54%
Cap. 12.0	-10.813,4	-24,53	-0,83	0,26	3,05%
Cap. 12.6	-11.085,7	-25,02	-0,83	0,26	2,97%
Cap. 14.0	-11.288,9	-24,04	-0,82	0,27	3,18%
Cap. 18.1	-11.326,1	-19,12	-0,77	0,32	4,25%
Precios Sociales					
Volumen Umbral (hm3)	VAN (MM $)	VAN/Sup (MM $/ha)	IVAN	n/k	TIR (%)
Escenario 2 (Sin Conducción Ofragía - Chaca)					
Cap. 6.9	-3.681,4	-14,87	-0,52	0,59	2,71%
Cap. 8.0	-2.727,6	-9,27	-0,37	0,70	3,79%
Cap. 10.0	-1.066,5	-2,86	-0,14	0,89	5,25%
Cap. 12.0	-208,3	-0,49	-0,03	0,98	5,87%
Cap. 12.6	59,2	0,13	0,01	1,01	6,04%
Cap. 14.0	694,9	1,46	0,08	1,07	6,41%
Cap. 18.1	1.652,1	3,00	0,17	1,14	6,87%
Escenario 3 (Con Conducción Ofragía - Chaca)					
Cap. 6.9	-6.084,1	-23,53	-0,61	0,49	1,67%
Cap. 8.0	-5.255,3	-17,55	-0,50	0,57	2,56%
Cap. 10.0	-3.235,2	-8,30	-0,29	0,75	4,17%
Cap. 12.0	-2.388,1	-5,42	-0,20	0,82	4,76%
Cap. 12.6	-2.582,8	-5,83	-0,22	0,81	4,68%
Cap. 14.0	-2.196,1	-4,68	-0,18	0,84	4,92%
Cap. 18.1	364,5	0,62	0,03	1,02	6,15%

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 15.8- 2
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA
MÉTODO DEL VALOR INCREMENTAL DE LA TIERRA

Capacidad	Escenario 2		Escenario 3	
	Total	Incremental	Total	Incremental
SA-SAO	1.212.376.000	0	1.272.016.000	0
Cap. 6,9	1.618.314.000	405.938.000	1.715.134.000	443.118.000
Cap. 8	1.775.484.000	563.108.000	1.853.376.000	581.360.000
Cap. 10	2.039.800.000	827.424.000	2.158.252.000	886.236.000
Cap. 12	2.211.504.000	999.128.000	2.330.970.000	1.058.954.000
Cap. 12,6	2.264.232.000	1.051.856.000	2.338.744.000	1.066.728.000
Cap. 14	2.388.616.000	1.176.240.000	2.428.314.000	1.156.298.000
Cap. 18,1	2.641.440.000	1.429.064.000	2.843.040.000	1.571.024.000
Capacidad	Valor Unitario ($/ha)			
	Escenario 2		Escenario 3	
	Total	Incremental	Total	Incremental
SA-SAO	2.203.118	0	2.147.587	0
Cap. 6,9	2.940.785	737.667	2.895.718	748.131
Cap. 8	3.226.393	1.023.275	3.129.117	981.530
Cap. 10	3.706.705	1.503.587	3.643.849	1.496.262
Cap. 12	4.018.724	1.815.606	3.935.455	1.787.868
Cap. 12,6	4.114.541	1.911.423	3.948.580	1.800.993
Cap. 14	4.340.571	2.137.452	4.099.804	1.952.217
Cap. 18,1	4.800.000	2.596.882	4.800.000	2.652.413

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.8- 3
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA
MÉTODO DE LAS TRANSACCIONES DE DERECHOS DE AGUAS

Capacidad	Escenario 2		Escenario 3	
	Total	Incremento	Total	Incremento
SA-SAO	644.638.917	0	644.638.917	0
Cap. 6,9	1.339.473.178	694.834.261	1.333.439.515	688.800.598
Cap. 8	1.598.920.685	954.281.768	1.556.685.045	912.046.127
Cap. 10	2.051.445.408	1.406.806.490	2.021.277.093	1.376.638.175
Cap. 12	2.353.128.556	1.708.489.638	2.298.825.589	1.654.186.672
Cap. 12,6	2.443.633.500	1.798.994.583	2.316.926.578	1.672.287.661
Cap. 14	2.648.778.041	2.004.139.124	2.461.734.489	1.817.095.572
Cap. 18,1	3.065.100.785	2.420.461.868	3.065.100.785	2.420.461.868

Nota: Referencia Valor UF $22.536, al 01/04/2012
Referencia Valor Dólar $487,44 al 01/04/2012
Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el proyecto no es rentable a precios privados para el método del presupuesto para los 2 escenarios. Por otra parte, a precios sociales el proyecto es rentable para los volúmenes desde 12,6 hm^3 a 18,1 hm^3 en el escenario 2 y solo es rentable para alternativa de 18,1 hm^3 del escenario 3. Según este método, la alternativa que da una mayor rentabilidad, en términos sociales, es un embalse con volumen umbral de 18,1 hm^3 que no considere una conducción especial en el sector de Ofragía Chaca, con un VAN de MM$1.652,1 y una TIR de 6,87%.

Con respecto al método de chequeo del valor incremental de la tierra, la alternativa de embalse de 18,1 hm^3 del escenario 3 es la que obtiene mejores resultados, seguida muy de cerca por el proyecto del mismo tamaño del escenario 2, lo que se explica por la mayor superficie de riego incorporada. En el método de las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas el embalse de 18,1 hm^3 de ambos escenarios son los con mayor incremento con respecto a la Situación Actual.

Los resultados en detalle se presentan en el Anexo 15-5.

15.9. 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, el que busca identificar las variables que más afectan el resultado económico de un proyecto y la magnitud de su incidencia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Dado que la mejor alternativa resultó ser el embalse de 18,1 hm^3 del escenario 2, es decir, sin considerar la conducción en el tramo Ofragía-Chaca, el análisis de sensibilidad sólo se realiza para este volumen, y solo a precios sociales.

Como primer paso, el Cuadro 15.9-1 muestra el cambio que experimenta el VAN, a precios sociales, ante la variación de 10% de las partidas involucradas en la evaluación económica, esto para saber las que tienen mayor repercusión en la rentabilidad del proyecto.

CUADRO 15.9-1
ANÁLISIS DE INCIDENCIA DE LAS VARIABLES EN LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Ítem Evaluación		Variación	VAN0	VAN1	ΔVAN	Elasticidad[3]
Beneficios	Agrícola	10,00%	1.652.052.338	3.075.316.167	1.423.263.829	8,62
	Daño Evitado	10,00%	1.652.052.338	1.667.227.357	15.175.019	0,09
Inversión	Obras Riego	10,00%	1.652.052.338	914.377.773	-737.674.565	-4,47
	Variante Camino	10,00%	1.652.052.338	1.556.863.909	-95.188.429	-0,58
	Expropiaciones	10,00%	1.652.052.338	1.515.727.770	-136.324.568	-0,83
Costos Operación Obras Riego		10,00%	1.652.052.338	1.575.147.027	-76.905.310	-0,47
Costos Bombeo Chaca		10,00%	1.652.052.338	1.587.221.276	-64.831.061	-0,39
Costos Ambientales		10,00%	1.652.052.338	1.489.742.656	-162.309.681	-0,98

Fuente: Elaboración propia

Del Cuadro anterior se puede observar que la variable que más incide en la rentabilidad es el beneficio agrícola, cuya elasticidad con respecto al VAN igual a 8,62, seguido por el costo de la obra de riego con una elasticidad de -4,47, siendo las únicas variables realmente relevantes, lo que justifica este proyecto como de riego, dejando los otros usos, como el control de crecidas, como secundarios. Con estos resultados se analizó la variación del VAN social ante un cambio de 10% superior e inferior de los beneficios agrícolas y el costo de las obras de riego y el 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 15.9-2).

[3] La elasticidad representa la variación porcentual que experimenta el VAN social con respecto a la variación de 1% de una variable en particular.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.9-2
RESULTADOS ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD
BENEFICIO AGRÍCOLA Y COSTOS DE LAS OBRAS DE RIEGO

Ítem Evaluación	VAN Social Según Variación ($)		Variación para VAN=0 (%)
	10%	-10%	
Beneficio Agrícola	3.075.316.167	228.788.509	-11,61%
Costo Obras Riego	914.377.773	2.389.726.902	22,40%

Fuente: Elaboración propia.

Las variaciones necesarias son relativamente medias, lo que es coherente con la rentabilidad calculada de las alternativas, ya que, tal como indica la TIR, con una tasa de descuento mayor a 6,58% el proyecto deja de ser rentable.

Por otra parte se ha evaluado el cambio del VAN social ante una variación de la tasa de descuento y el periodo de ejecución de las obras, resultados que se muestran en el Cuadro 15.9-3. En este caso destaca que a medida que el proyecto demora más en ejecutarse el VAN social disminuye.

CUADRO 15.9-3
RESULTADOS ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD
TASA DE DESCUENTO SOCIAL Y PERIODO DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Ítem Evaluación	Valor	VAN Social ($)
Tasa de Descuento Social	4%	6.683.347.050
	8%	-1.792.019.736
Período de Ejecución de las Obras	2 Años	887.338.662
	3 Años	161.384.016

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente no se ha considerado un análisis de sensibilidad adicional modificando 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, ya que en la zona existe una alta proporción de cultivos anuales y frutales ya establecidos, por lo que la variabilidad es menor, ya que se compensan costos de implementación y beneficios de producción de los nuevos cultivos.

15.10. 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[4].

15.11. INDICADORES ADICIONALES

15.11.1. Balance de Mano de Obra

Cabe señalar que de acuerdo a los criterios de desarrollo propuestos para el presente proyecto se estima que su estabilización se logrará en el año 2032. En el acápite Descripción General del Área, Antecedentes Regionales y Comunales, Población, letra e) se presenta la mano de obra agrícola disponible al año 2011, de donde se desprende que ésta alcanza a 3.411 hombres y 845 mujeres, lo que suma en total 4.256 personas.

Para estos efectos se presenta en el Cuadro 15.11.1-1 el cálculo de los requerimientos totales de mano de obra para situación actual (año 0) y en el Cuadro 15.11.1-2 para la situación futura al año 2032.

En este cálculo se han incluido los siguientes ítems de mano de obra:

- Mano de obra resultante de las actividades directas incluidas en las fichas técnico económicas.
- Mano de obra permanente, correspondiente a los meses con menor demanda de empleo. En el resto de los meses se utiliza el promedio de los meses de menor demanda.
- Mano de obra temporal, correspondiente a la diferencia entre el total de mano de obra y la mano de obra permanente.
- Mano de obra adicional para desempeñarse en labores indirectas como por ejemplo, mantención de infraestructura, limpia de canales, destronques, administración y trabajo del propietario, entre otras. Corresponde a un 20% adicional a las jornadas permanentes. Estas jornadas están valorizadas dentro del ítem Costos Indirectos.

[4] 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, Edition 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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.11.1-1
REQUERIMIENTOS DE EMPLEO PERMANENTE Y TEMPORAL DE HOMBRES Y MUJERES EN JORNADAS PARA SITUACIÓN ACTUAL O AÑO 0

PERSONAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Masculino Labores Directas	719,5	719,5	820,7	719,5	807,7	719,5	719,5	719,5	719,5	719,5	666,5	583,1	8.634,2
Femenino Labores Directas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Masculino Labores Indirectas	115,1	115,1	131,3	115,1	129,2	115,1	115,1	115,1	115,1	115,1	106,6	93,3	1.381,5
Femenino Labores Indirectas	28,8	28,8	32,8	28,8	32,3	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	26,7	23,3	345,4
Total Personal Permanente	**863,4**	**863,4**	**984,9**	**863,4**	**969,3**	**863,4**	**863,4**	**863,4**	**863,4**	**863,4**	**799,8**	**699,7**	**10.361,0**
Masculino Temporal	251,0	251,4	0,0	463,7	0,0	1.885,0	2.091,7	2.261,3	1.355,5	1.020,9	0,0	0,0	9.580,6
Femenino Temporal	213,8	96,9	136,6	202,1	236,6	1.667,3	1.649,0	1.641,6	930,7	912,2	56,7	199,0	7.942,4
Total Personal Temporal	**464,8**	**348,2**	**136,6**	**665,8**	**236,6**	**3.552,3**	**3.740,7**	**3.902,9**	**2.286,2**	**1.933,1**	**56,7**	**199,0**	**17.523,0**

Fuente: Elaboración propia a partir de fichas técnico económicas.

CUADRO 15.11.1-2
REQUERIMIENTOS DE EMPLEO PERMANENTE Y TEMPORAL DE HOMBRES Y MUJERES EN JORNADAS PARA SITUACIÓN FUTURA O AÑO 21

PERSONAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Masculino Labores Directas	2.564,0	2.768,5	2.448,3	2.564,0	2.757,8	2.564,0	2.564,0	2.564,0	2.564,0	2.564,0	2.281,4	2.564,0	30.768,1
Femenino Labores Directas	512,3	365,7	453,2	541,7	688,4	512,3	512,3	512,3	512,3	512,3	512,3	512,3	6.147,2
Masculino Labores Indirectas	492,2	501,5	464,2	496,9	551,4	492,2	492,2	492,2	492,2	492,2	447,0	492,2	5.906,4
Femenino Labores Indirectas	123,1	125,4	116,1	124,2	137,9	123,1	123,1	123,1	123,1	123,1	111,7	123,1	1.476,6
Total Personal Permanente	**3.691,5**	**3.761,1**	**3.481,8**	**3.726,9**	**4.135,5**	**3.691,5**	**3.691,5**	**3.691,5**	**3.691,5**	**3.691,5**	**3.352,4**	**3.691,5**	**44.298,3**
Masculino Temporal	2.761,0	0,0	0,0	611,2	0,0	6.333,2	6.802,4	6.062,6	5.511,1	4.350,9	0,0	1.391,7	33.824,1
Femenino Temporal	1.008,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4.969,3	4.972,3	5.107,8	3.524,8	3.368,7	383,3	826,2	24.160,7
Total Personal Temporal	**3.769,3**	**0,0**	**0,0**	**611,2**	**0,0**	**11.302,4**	**11.774,7**	**11.170,4**	**9.035,9**	**7.719,6**	**383,3**	**2.218,0**	**57.984,9**

Fuente: Elaboración propia a partir de fichas técnico económicas.

De los Cuadros anteriores se concluye que en Situación Actual el requerimiento de mano de obra permanente en el área de estudio asciende a 36 personas, considerando que cada obrero trabaja 24 días al mes. Entretanto, en Situación Futura, este tipo de empleo asciende a 44.298,3 jornadas totales anuales, lo que equivale a 153,8 personas mensuales.

De esta manera, se deduce que por efectos de la ejecución del presente proyecto, hacia el año 2032, los puestos de trabajo permanente se incrementarían en más de cuatro veces, evolución que corresponde a 117,8 unidades de nuevas plazas de colocación.

Teniendo en consideración la demanda de mano de obra permanente en situación actual, del orden de 10.361 jornadas, y la estimada en plena madurez del proyecto, año 2032 con 44.298,3 jornadas de trabajo permanente; la tasa interanual de crecimiento de los requerimientos de mano de obra, entre ambas situaciones, alcanza a 7,164%.

Con el propósito de realizar el balance de mano de obra, se utilizará la información disponible al año 2011, referida a la mano de obra existente en el área de estudio disponible para ocuparse en las labores agrícolas, sin considerar a las personas dedicadas a los quehaceres del hogar, que eventualmente podrían incorporarse a este sector. Al comparar la población residente disponible para desempeñarse en el sector agrícola en el año 2032, equivalente a 5.514 personas, se concluye que ésta satisface plenamente los requerimientos de mano de obra permanente en la plena madurez del proyecto.

15.11.2. Rentabilidad por Hectárea Regada

La rentabilidad por hectárea regada consiste en el cuociente entre el beneficio ocasionado por el proyecto y el número de hectáreas beneficiadas con riego.

La rentabilidad para cada una de las situaciones se presenta en el Cuadro 15.11.2-1. Como se aprecia en la tabla indicada, en situación futura se produce un incremento del orden del 139,5% en relación a la rentabilidad de la situación optimizada. En esta última (optimizada) en relación a la actual sólo sufre un incremento del 9,7%.

CUADRO 15.11.2-1
RENTABILIDAD POR HECTÁREA REGADA

Situación	Superficie Regada (ha)	Rentabilidad por Hectárea ($)	Incrementos (%)
Actual	249,70	1.024.967	-
Actual Optimizada	249,70	1.123.926	9,7
Futura	592,32	2.691.659	139,5

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

15.11.3. 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 futura se incrementa en 522,9% en relación a la situación actual. Esta información se presenta en el Cuadro 15.11.3-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 15.11.3-1
INGRESO PER CÁPITA

Situación	Número de Agricultores	Ingreso Per Cápita ($)	Incrementos (%)
Actual	477	536.550	-
Futura	477	3.342.397	522,9

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

15.11.4. 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 537,3% al pasar de $56,5 millones en situación actual a más de $359,9 millones en situación futura (ver Cuadro 15.11.4-1).

CUADRO 15.11.4-1
GENERACIÓN IMPUESTOS

Situación	Impuestos ($)	Incrementos (%)
Actual	56.470.530	-
Futura	359.899.650	537,3

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

15.12. 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:

- **Desarrollo de las comunidades andinas:** En un valle como el de Vítor, en que la juventud por falta de oportunidades está alejándose gradualmente, el presente proyecto no solamente puede significar un freno a este alejamiento, sino que puede ofrecer atractivos para quedarse y formar nuevas familias de la etnia Aymara u otra en la Región. Se considera este aspecto de vital importancia, ya que el curso de los actuales acontecimientos indica que el valle estaría en vías de desaparecer, al menos como comunidad andina desarrollada.

Esto traería efectos positivos en otras áreas como la educación y la salud, por mencionar a las más importantes.

- **Desarrollo del Turismo:** El valle de Vítor se encuentra ubicado en un lugar bastante remoto del país, con sitios naturales de gran belleza, tal como el salar de Surire, numerosas quebradas, un valle con una agricultura tradicional y vestigios de la cultura inca, hitos que poseen un atractivo para el turismo. Este potencial puede verse incrementado con la construcción del presente proyecto, ya que también permitiría desarrollar actividades acuáticas como la pesca y variados deportes de navegación. Esto permitiría un mayor desarrollo de sectores que hoy en día son incipientes en Vítor-Codpa, como el hotelero, ya que hoy solo existe un lodge en Codpa. En este rubro, se puede perfectamente explotar la comida andina y platos típicos Aymara, por ejemplo.

- **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 en el Capítulo 14 sobre Análisis Ambiental.

15.13. RECOMENDACIÓN DEL PROYECTO

En primer lugar es importante mencionar que al analizar los resultados de la evaluación con el método del presupuesto, a precios privados ninguna alternativa y tipo de proyecto es rentable y solo los tres tamaños mayores (12,6 hm^3 y 18,1 hm^3) del proyecto sin tubería y el de volumen 18,1 hm^3 del proyecto con tubería son rentables a precios sociales.

Dados los resultados de la evaluación económica, en términos generales, el método de evaluación del presupuesto muestra mejores resultados para el proyecto sin tubería en el tramo entre Ofragía y Chaca en comparación con el proyecto que sí la considera. Además, dentro del proyecto sin tubería, el tamaño óptimo a recomendar es 18,1 hm^3 de volumen umbral, ya que es el más rentable en términos sociales, con un VAN igual a MM$1.652,1 y una TIR de 6,87%, evaluados con el método del presupuesto. La mayor parte de los beneficios que determinan esta rentabilidad provienen del uso para la agricultura de riego, dejando en un muy segundo plano a los beneficios derivados del control de crecidas.

Cabe destacar que, a pesar de que a precios sociales la alternativa y tamaño del proyecto es rentable, el análisis de sensibilidad muestra que existe un riesgo medio de que la disminución de los beneficios agrícolas y el aumento de los costos de las obras de riego puedan provocar que la evaluación se vuelva negativa. Debido a esta situación, en la etapa de factibilidad se requiere poner especial atención al cálculo de estas variables, incorporando un estudio más detallado de las proyecciones futuras de los beneficios agrícolas, además de las dimensiones y requerimientos de las obras.

16. ANÁLISIS FINANCIERO

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 promedio se basa en los siguientes supuestos entregados por la Inspección Fiscal como metodología de trabajo:

- 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.

- 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 la situación actual optimizada corresponde a un 10% de los costos indirectos e indirectos. Para la situación con proyecto se ha supuesto un capital de trabajo equivalente al diferencial entre costos directos e indirectos de la situación proyectada y el 90% de estos mismos costos en situación actual El capital de trabajo es financiado mediante crédito, cuya amortización es a 10 años, en cuotas iguales.

- Los costos financieros se han estimado considerando una tasa del 10% anual sobre el saldo insoluto de la deuda.

- Se ha supuesto que la realización del proyecto debe permitir, a cada predio promedio, 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 con proyecto y actual optimizada, una rentabilidad por predio, diferenciada por estrato de tamaño y nivel tecnológico. 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 la metodología de trabajo previamente descrita se obtuvieron los resultados presentados en el Cuadro 16-1. El detalle se presenta en el Anexo 16-1.

Al analizar los resultados presentados, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se observa que en todos los casos en algunos años no es posible pagar las obras a los regantes, aunque en el contexto global en la mayoría de los casos están dispuestos a pagar, estos no tienen la suficiente capacidad económica para hacerlo. Por lo que en caso de construir la obra se necesitaría para la

mayoría de los estratos subsidios cercanos al 100 %. Lo anterior es concordante con la rentabilidad marginal del proyecto a precios sociales.

- Lo anterior se debe entre otras razones a la rigidez en exigir que el préstamo debe amortizarse en 10 años.

- 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.

- Aún con todas las simplificaciones, se observa que todos los estratos tienen problemas de flujo de caja en algún momento del proyecto

CUADRO 16-1
RESULTADOS ANÁLISIS FINANCIERO
POR HECTÁREA PARA PREDIOS PROMEDIO

Ubicación	Estrato de Tamaño (ha)	Nivel	Valor inicial a Pagar ($)	Valor Dispuesto a Pagar ($)	Valor a Subsidiar ($)	Subsidio (%)
1	0 a 0,5	Bajo	1.183.128	6.399	1.176.730	99,5
	0,51 a 1,0	Medio Bajo	1.183.128	35.254	1.147.874	97,0
	1,01 a 5,0	Medio Bajo	1.183.128	23.044	1.160.084	98,1
	5,01 a 10,0	Medio Bajo	1.183.128	54.798	1.128.330	95,4
2	0 a 0,5	Bajo	1.183.128	668	1.182.461	99,9
		Medio	1.183.128	553	1.182.575	100,0
		Alto	1.183.128	0	1.183.128	100,0
	0,51 a 1,0	Bajo	1.183.128	1.652	1.181.476	99,9
		Medio	1.183.128	15.256	1.167.872	98,7
	1,01 a 5,0	Bajo	1.183.128	4.090	1.179.038	99,7
		Medio	1.183.128	5.987	1.177.141	99,5
	5,01 a 10,0	Bajo	1.183.128	0	1.183.128	100,0
3	0,51 a 1,0	Medio	1.183.128	0	1.183.128	100,0
	1,01 a 5,0	Bajo	1.183.128	0	1.183.128	100,0
		Medio	1.183.128	58.223	1.124.906	95,1
	5,01 a 10,0	Bajo	1.183.128	421.311	761.817	64,4
		Alto	1.183.128	340.655	842.474	71,2
	> de 10,0	Medio	1.183.128	531.694	651.435	55,1
		Alto	1.183.128	122.802	1.060.326	89,6

Fuente: Elaboración propia.

ARRAUIngeniería E.I.R.L.
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

17. PARTICIPACIÓN CIUDADANA

La componente de participación ciudadana tiene por objetivo integrar a los actores sociales relevantes con presencia en el territorio de intervención, en el desarrollo del Proyecto, a través de distintos espacios de participación (entrevistas, talleres de trabajo, encuentros y otras actividades), que permitan, por una parte, informar a la comunidad y por otra, recoger sus inquietudes, intereses y opiniones, incorporándolas en el Proyecto, cuando sea pertinente.

La metodología utilizada se estructura en función de los principios Coherencia y desarrollo de una secuencia lógica; Enfoque participativo; Enfoque de género; Incorporación del componente Participación Ciudadana.

El área de estudio se ubica en la cuenca hidrográfica de Vítor, la que se encuentra casi en su totalidad en la comuna de Camarones, de la Región de Arica y Parinacota. Hacia aguas abajo del sitio estudiado se abarcan los sectores/poblados de: Vila Vila (sector), Mollegrande (sector), Corralones (sector), Sivitaya (sector), Chitita (poblado), Guañacagua (poblado), Guatanave (poblado), Marquirave (sector), Codpa (poblado), Cerro Blanco (poblado), Ofragía (sector), Chaqui (sector), Calaunza (sector), Pintatane (sector). El último sector de la cuenca de Vítor, perteneciente administrativamente a la comuna de Arica, abarca lo que se conoce como valle de Chaca y Caleta Vítor.

La población de la comuna de Camarones es de 1.220 habitantes, con 745 hombres y 475 mujeres, la que es en un 100% rural. En los sectores ubicados en el área de estudio habitan 624 personas, siendo 343 hombres (55%) y 281 mujeres (45%). La actividad económica más importante es la agricultura-ganadería que representa un 65% de la actividad económica en cuanto a ocupación de la población de la cuenca hidrográfica.

El área de estudio se encuentra inserta en el Área de Desarrollo Indígena (ADI) "Alto Andino", creada en el año 2004, mediante Decreto Nº 224, el que abarca las comunas de Putre, General Lagos y parte de la comuna de Camarones. Abarca una superficie de de 1.031.174 hectáreas, donde existen comunidades y asociaciones indígenas constituidas bajo la Ley Indígena y de organizaciones tradicionales, por lo que se debe implementar en las futuras etapas un proceso de Consulta Indígena, según lo comprometido por el Estado de Chile en el Convenio 169.

Dentro de los actores relevantes se encuentra la Asociación Indígena Comunidad de Itiza, la Comunidad Indígena de Umirpa, la Junta de Vigilancia de Codpa, el Comité de Regantes Valle de Chaca, la Junta de Adelanto de Caleta Vítor. Los actores públicos con presencia en el territorio son la CNR, la Ilustre Municipalidad de Camarones, el Gobierno Regional, la SEREMI de Agricultura, el INDAP y la Dirección General de Aguas. En el caso del área de estudio del proyecto, el área que va desde el sector Umirpa-Itiza hasta Ofragía es el área geográfica que estaría dentro del ADI "Alto Andino". El Área de Desarrollo Indígena Alto Andino tiene un Consejo Directivo, el cual es elegido por votación popular por los

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

presidentes de las comunidades indígenas insertas en el ADI correspondiente. Para el caso de la comuna de Camarones, los representantes elegidos recientemente son:

- Ecozona Alto Camarones: Marcela Gómez Mamani (Pdta. Com. Indígena de Umirpa)
- Ecozona Bajo Camarones: Artemisa Elena Cerda Rivera (Socia de la Com. Indígena de Codpa)

A lo largo de la cuenca hidrográfica de Vítor existen diversas organizaciones sociales, las mayor parte de las cuales están integradas por personas de origen indígena, aymaras en su gran mayoría. Otro elemento a tener en consideración en relación a este proyecto en particular, es que existen algunas comunidades y asociaciones indígenas existentes aguas debajo de la cuenca de Vítor pero que quedan fuera del Área de Desarrollo Indígena Alto Andino. En este caso se refiere a todo el sector del valle de Chaca y Caleta Vítor, en donde existe una comunidad indígena y, al menos, dos asociaciones indígenas.

El Convenio 169 de la OIT es el instrumento jurídico internacional sobre los derechos de los pueblos indígenas y tribales más completo y constituye una herramienta para estimular el diálogo entre gobiernos y pueblos indígenas y tribales. El año 2009 entró en vigencia en Chile dicho convenio, sobre Pueblos Indígenas y Tribales, en Países Independientes de la Organización Internacional del Trabajo, de 1989, que obliga al gobierno a asumir la responsabilidad de desarrollar, con la participación de los pueblos interesados, una acción coordinada y sistemática con miras a proteger los derechos de esos pueblos y a garantizar el respeto de su integridad.

A continuación se señalan los principios internacionales relativos a la consulta a los pueblos indígenas expuestos en el informe del Relator Especial de Naciones, James Anaya:

1) La consulta debe realizarse con carácter previo;
2) La consulta no se agota con la mera información;
3) La consulta debe ser de buena fe, dentro de un procedimiento que genere confianza entre las partes;
4) La consulta debe ser adecuada y a través de las instituciones representativas indígenas;
5) La consulta debe ser sistemática y transparente y;
6) El alcance de la consulta, los cuales podrían ser aplicadas a los procesos de consulta sobre la elaboración de toda medida legislativa, administrativa, reglamentaria o política que afecte directamente los derechos y los intereses de los pueblos indígenas"[1].

[1] Informe del Relator Especial sobre la situación de los derechos humanos y libertades fundamentales de los indígenas, James Anaya. ONU, apéndice pags. 25 al 30 http://unsr.jamesanaya.org/docs/countries/2009_report_chile_sp.pdf

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

A la fecha de elaboración de este informe final (diciembre 2012) se encuentra en pleno desarrollo el proceso de elaboración y definición del mecanismo de implementación de la Consulta Indígena, con participación de los distintos pueblos indígenas de Chile. Los resultados de este proceso se plasmarán en un Decreto del Ministerio de Desarrollo Social que reemplazará al cuestionado Decreto 124 de MIDEPLAN, decreto que fuera elaborado sin la participación de las comunidades indígenas y, por dicha razón, cuestionado y no validado por las comunidades en cuestión.

Los actores sociales y territoriales que se han identificado en el transcurso del estudio corresponden a actores públicos y sociales que son clave para el desarrollo del programa de participación ciudadana, cuya influencia y conocimiento en el valle resultan esenciales para llevar a cabo un proceso de retroalimentación, traspaso de información y comunicación, correspondiendo a los objetivos fundamentales que este programa impulsa. Entre ellos se tuvo interacción con don Isidro Challapa Castro, Presidente de la Asociación Indígena Comunidad de Itiza; Ceferino Choque, de la misma organización; Marcela Gómez, Presidenta Comunidad Indígena de Umirpa; María Elena Condori, Presidenta Junta de Vigilancia de río Codpa-Vítor; Delia Valdés, Secretaria de la misma Junta de Vigilancia; Walter Palomino, Presidente Comité de Regantes Valle de Chaca; Gina Calle, Presidenta Junta de Vecinos Caleta Vítor; Ana Carvajal Larba, Presidenta Junta de Adelanto de Caleta Vítor. Los actores públicos con presencia en el territorio son la Comisión Nacional de Riego, la I.M. Municipalidad de Camarones, Gobierno Regional, SEREMI de Agricultura, INDAP, DGA, DOH.

Dentro de las actividades de participación ciudadana, se entrevistaron 10 actores relevantes del territorio, los que se detallan en el siguiente cuadro.

CUADRO 17-1
ENTREVISTAS A ACTORES CLAVES

N°	Institución / Organización	Nombre
1	Comisión Nacional de Riego	Marcelo Díaz, Coordinador Plan Hídrico Arica y Parinacota
2	I.M. de Camarones	Iván Romero, Alcalde
3	SEREMI Agricultura	Jorge Alache, Seremi
4	Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)	Rooney Focacci Y., Director Regional
5	Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI)	Maricel Gutiérrez C., Directora Regional
6	Junta de Vigilancia del Río Codpa-Vítor, sector valle de Codpa	María Elena Condori, Presidenta
7	Junta de Vigilancia del Río Codpa-Vítor, sector valle de Codpa	Delia Valdés, Secretaria
8	Junta de Vigilancia del Río Codpa-Vítor, sector valle de Chaca	Walter Palomino, Director
9	Junta de Vecinos de Caleta Vítor	Gina Calle
10	Asociación Indígena Comunidad de Itiza	Isidro Castro Challapa Ceferino Choque García

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Estas entrevistas, junto con las demás actividades de participación ciudadana, permiten efectuar la matriz de actores relevantes que se presenta en el Cuadro 17-2.

El estudio de la componente de género da cuenta que la propiedad de la tierra corresponde a un 47,28% a hombres, un 42,05% a mujeres, un 5,65% a sucesiones, un 2,72% a otros, 1,26% a varios propietarios y 1,05% a empresas. Considerando sólo las propiedades asociadas a personas naturales con títulos individuales, la distribución porcentual por género queda determinada por un 52,93% de propietarios hombres y un 47,07% de propietarias mujeres.

Además se realizó un análisis de los datos recogidos a través de la encuesta agropecuaria, los que muestran que un 32,92% de los trabajadores/as permanentes son mujeres, las que representan un 31,68% entre la mano de obra familiar y un 1,24% de la mano de obra externa. Esta situación denota la brecha que existe entre el empleo permanente femenino, sobre todo externo, respecto del masculino en las labores agrícolas en el área de estudio.

Esta situación se acentúa al analizar el número de jornadas temporales desarrolladas en el área de estudio a nivel de género. Es así como el 8,1% de las jornadas se encuentran realizadas por mujeres, mientras un 91,9% se encuentran realizadas por hombres. La mayor participación de hombres temporales respecto de mujeres en el área del proyecto se debe a que la mujer participa, fundamentalmente, en labores de cosecha y selección de frutas y hortalizas, tareas que realiza como personal familiar permanente. Al contratar personal externo temporal, los productores prefieren hombres, hecho que debiera cambiar en situación con proyecto, debido al aumento en la superficie de frutales y hortalizas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 17-2
MATRIZ ANÁLISIS DE ACTORES RELEVANTES

Actor	Descripción	Posición	Argumento Explícito	Argumento Implícito	Influencia	Relación entre actores	Estrategia a seguir
Comisión Nacional de Riego (CNR)	Es el mandante del proyecto. Su misión es asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país mediante la formulación de la política, estudios y programas y proyectos que aporten al mejoramiento de la competitividad de los agricultores/as y organizaciones de regantes.	Positiva.	Este estudio forma parte de 4 compromisos asumidos con el valle de Codpa en marzo del 2011 y se ha ido cumpliendo con todo lo comprometido.	La continuidad del proyecto depende en un 50% de los regantes y su capacidad de organización y presión hacia la autoridad.	Tiene un representante en la región que es el Coordinador del Plan Hídrico Arica Parinacota (Marcelo Díaz).	El Coordinador del Plan Hídrico Arica-Parinacota tiene relación directa con la Intendencia así como con la Pdta. de Junta Vigilancia.	Tal vez la CNR debiera solicitar a CONADI información referida a propiedad de las tierras en la zona en estudio. Esto debiera de realizarse lo antes posible, para no generar desencuentros o falsas expectativas con posibles organizaciones que podrían no ser los dueños de los terrenos en el sector de Umirpa.
I.M. de Camarones	Es el organismo encargado de la gestión territorial. Es un actor clave que está en el día a día.	Muy positiva, de colaboración hacia el proyecto	El embalse es un gran adelanto para la comuna y un anhelo de muchos años.		Mediana. La actual gestión alcaldicia es relativamente nueva. No posee el nivel de experiencia de gestiones municipales que a veces llevan 2 o 3 periodos continuados.	La actual administración alcaldicia tiene una buena relación con los distintos servicios públicos.	Asegurar en todas las reuniones la participación de algún miembro del equipo alcaldicio. Comprometer más fuertemente al alcalde para que ayude a la búsqueda de los recursos económicos para financiar etapa de factibilidad.
Gobierno Regional	Es quien define la Estrategia de Desarrollo Regional, en donde un eje de desarrollo es la agricultura.	No se conoce.		Para futuras etapas podría ser la fuente de financiamiento vía FNDR.	Importante en etapas futuras. El Gobierno Regional tiene la capacidad de impulsar ciertos proyectos estratégicos.	La coordinación del Plan Hídrico Arica y Parinacota está en dependencias del GORE, lo cual le otorga a esta línea de	Seguir invitando a los CORES, pdtes. de Comisión de Infraestructura y Comisión Rural y Afianzamiento de la Identidad Cultural

CUADRO 17-2
MATRIZ ANÁLISIS DE ACTORES RELEVANTES

Actor	Descripción	Posición	Argumento Explícito	Argumento Implícito	Influencia	Relación entre actores	Estrategia a seguir
						inversión un rol preponderante en la gestión del GORE.	
SEREMI Agricultura	La misión del MINAGRI es fomentar, orientar y coordinar la actividad silvoagropecuaria del país. Su acción está encaminada a obtener el aumento de la producción nacional, la conservación, protección y acrecentamiento de los recursos naturales renovables y el mejoramiento de las condiciones de nutrición del pueblo".	Muy positiva.	Le interesa mucho los resultados del estudio. Si los números no dan y no es viable no se podrá continuar con próximas etapas.		La agricultura es un eje prioritario dentro de la Estrategia de Desarrollo Regional, por lo cual la Seremi debiera tener una influencia relevante en el ámbito de las decisiones que se tomen al respecto.		Solicitar información disponible respecto del Prodesal en valle de Codpa. Invitarlo siempre a las PAC.
Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)	La misión del INDAP es "generar capacidades y apoyar con acciones de fomento el desarrollo productivo sustentable de la pequeña agricultura".	No se conoce.	Le preocupa los efectos que pudiese tener el embalse sobre los acuíferos en el sector de Chaca-Caleta Vítor.		Financia un Prodesal en el Valle de Codpa.	Depende de la SEREMI de Agricultura.	Profesional del programa Prodesal en valle de Codpa podría aportar cierta información.
Dirección General de Aguas (DGA)	La DGA es el organismo del Estado que se encarga de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente.	No se conoce. Asiste poco a las asambleas de PAC			Relevante, en el ordenamiento de los derechos de aguas en la cuenca hidrográfica.		Solicitar catastro de aguas de la cuenca de Vítor. Averiguar cómo va proceso de solicitud inscripción de aguas por parte de la Asoc. Indígena de Itiza.
Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)	Servicio encargado de llevar a cabo las grandes obras de riego para hacer un uso eficiente	No se conoce.	Han estado ausentes de la fase de prefactibilidad.		Relevante en la próxima fase del proyecto, en tanto serán los mandantes en	Buena con la comunidad. Hay algunas intervenciones	Ellos deberán definir dicha estrategia. Se sugiere relevar las gestiones a

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 17-2
MATRIZ ANÁLISIS DE ACTORES RELEVANTES

Actor	Descripción	Posición	Argumento Explícito	Argumento Implícito	Influencia	Relación entre actores	Estrategia a seguir
	del recurso hídrico, con el objetivo de contribuir a aumentar la superficie agrícola				etapa de factibilidad.	de la DOH en valle de Codpa para defensas fluviales.	realizar ante CONADI para dilucidar conflicto de tierras en Umirpa.
Isidro Castro Challapa (Pdte. Com. de Itiza)	Dirigente sincero, desde el inicio demostró su preocupación y explícito su postura.	Negativa pero abierto a la negociación.		Esperan ser indemnizados. "Habrá que ver cómo vamos ahí" "Esto es una pelea". "Sabemos que va a ser así porque la gente de Codpa se ha opuesto a que nosotros regularicemos nuestras vertientes" "Nosotros tenemos inscritas nuestras tierras, la gente de Marcela Gómez no tiene nada". (comentarios expresados en conversación informal)		Desconoce en parte representatividad de dirigente Marcela Gómez de la Com. Indígena de Umirpa. Dicha C.I. está entre medio de las tierras de la comunidad de Itiza y no tendría tierras regularizadas.	Mantenerlo informado. Solicitar información sobre regularización de tierras a CONADI. Solicitarles permiso antes de hacer sondajes y proponer hacer una "p´awa" o una "wilancha" antes de hacer sondajes.
Marcela Gómez (Pdta. Com. Indígena de Umirpa)	Antigua dirigente. Actualmente es Consejera ADI por Alto Codpa.				Mediana. Mantiene relaciones estrechas con otros dirigentes y participa activamente en los distintos procesos eleccionarios aymaras. Actualmente es Consejera ADI.	Tendrían una mala relación con la comunidad de Itiza.	Invitarla siempre a las reuniones. Evitar confrontarla directamente con dirigentes de Itiza.
María Elena Condori, Pdta. Junta de Vigilancia	Dirigente muy activa, con una visión muy clara del proyecto y los desafíos que ellos implican para el valle y la nueva organización en	Muy positiva. Tiene mucha esperanza que los codpeños adquieran conciencia de la	El proyecto es rentable, es cosa de echarle para adelante.	Teme que las nuevas generaciones, los nuevos herederos de las tierras y las aguas en Codpa no	Es un buen líder, de pensamiento positivo, con visión de futuro y abierta al diálogo con todos.	Recientemente se ha generado la relación con la familia propietaria de los terrenos en	Fortalecer su liderazgo.

CUADRO 17-2
MATRIZ ANÁLISIS DE ACTORES RELEVANTES

Actor	Descripción	Posición	Argumento Explícito	Argumento Implícito	Influencia	Relación entre actores	Estrategia a seguir
	formación.	relevancia del proyecto.		se interesen en la agricultura.		sector de Umirpa, la Comunidad de Itiza. Buena, pero aún algo formal con los dirigentes de Chaca. Tiene una buena opinión de Sra. Gina Calle de C. Vítor. Regular con Sra. Ana Carvajal de C. Vítor (dicen que es algo conflictiva).	
Delia Valdés Secretaria Jta. Vigilancia	Altamente activa. Ella liderará el proceso de constitución formal de la Junta de Vigilancia.	Positiva	El embalse es un anhelo muy esperado por la gente del valle de Codpa.		Pareciera que tuviera menos liderazgo o aceptación que la Sra. María Elena Condori. Tal vez su participación como candidata a concejala en la última elección municipal por un partido político tradicional le haya restado algo de legitimidad.		Integrar a la nueva presidenta electa de la Junta de Vigilancia, señora María Elena Condori de Marquirabe.
Walter Palomino (Pdte. Comité de Riego sector Chaca)	Empresario agrícola, oriundo de Rancagua. Tiene visión y más formación que restantes dirigentes. Tiene también terrenos en Azapa.	Positiva	Chaca tiene un gran potencial y se vería tremendamente beneficiado.	Le preocupan las mineras y las solicitudes de aguas que hacen algunos agricultores para vender aguas a las mineras. Por ello siente cierta desconfianza.	Es respetado y escuchado por demás dirigentes del sector de Chaca.	Buena relación con los demás socios del valle de Chaca. Aún no existe una relación de plena confianza con dirigentes del valle de Codpa.	Invitarlo siempre. El debiera ser una persona que podría aportar a generar conciencia en los parceleros de Chaca para fortalecer su organización y su incorporación a la Junta de Vigilancia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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 17-2
MATRIZ ANÁLISIS DE ACTORES RELEVANTES

Actor	Descripción	Posición	Argumento Explícito	Argumento Implícito	Influencia	Relación entre actores	Estrategia a seguir
Gina Calle (Pdta. J.V. Caleta Vítor)	Dirigenta de corte más bien conciliador y pragmática. Ha logrado unir a la gente de C. Vítor. Es contadora de profesión. Más que agricultora, junto con su marido tiene más el perfil de empresarios agrícolas.	Expectante y con muchas interrogantes.	Embalse debe beneficiar a todos por igual. Si embalse no logra generar la recarga del acuífero, entonces no es viable para nosotros.	La J. de Vecinos es el verdadero interlocutor de la gente de C. Vítor, puesto que representa a todos y no solo a un determinado sector.	Alta, al parecer.	Regular con Sra. Ana Carvajal, aunque valora que existan otras organizaciones. Varios dirigentes de Codpa la mencionan como una dirigente positiva. Al parecer buena relación con DGA y BB.NN.	Incorporarla en las invitaciones a todas las asambleas de PAC.
Ana Carvajal Larba	Presidenta Comité de Adelanto de Caleta Vítor y de una Asociación Indígena.	Conflictiva. Ella lidera un grupo de personas que han optado por ocupar terrenos sin querer optar a la opción de arriendo, arguyendo que lo que corresponde es el traspaso por parte de BB.NN.			Baja. No representa a todos los parceleros de C. Vítor. No tienen regularizados todos los pozos en dicho sector, puesto que no han querido suscribir un contrato de arriendo con BB. NN.	Tiene conflictos con Pdta. de J. Vecinos de Caleta Vítor. Diversos dirigentes la describen como conflictiva.	Invitarla siempre a reuniones. Realizarle una entrevista.

Fuente: Elaboración Propia

Descripción: Listado de actores y características relevantes de cada actor. (Se entiende por actor a instituciones u organizaciones, sólo en casos excepcionales a personas en particular)
Posición: Roles centrales de cada actor y actitud frente al problema que se estudia y al proyecto.
Argumento Explícito: Visiones manifiestas y abiertas de orden positivo o negativo que los distintos actores exponen en relación al proyecto o al problema que se estudia.
Argumento Implícito: visión positiva o negativa que se deduce del discurso de los actores. No es un argumento manifiesto y explícito expuesto abiertamente por los mismos.
Influencia: grado de influencia que maneja cada actor en relación al proyecto.
Relación entre actores: Son las relaciones con otros actores 8juntas de vecinos, municipalidad, comités, autoridades técnicas y políticas de nivel comunal, provincial y regional, ente otras). Se deberán reconocer los conflictos, alianzas y todo tipo de atributos de la relación que se establezca.

Se realizaron tres reuniones ampliadas de participación ciudadana, donde se convocó a los actores relevantes del territorio a informarse sobre el estudio. Estas reuniones se realizaron en tres momentos distintos del estudio, al inicio, en el proceso de selección de alternativas y hacia el final de éste. En estas reuniones se presentó el estado de avance del estudio, se respondieron dudas, se canalizaron inquietudes y se recibieron comentarios y sugerencias. Se recalcó la importancia de la participación de la comunidad tanto en esta etapa como en las próximas del estudio. Estas reuniones fueron calificadas en general como buenas a través de la encuesta de evaluación.

La primera reunión se realizó el día 1 de diciembre de 2011 a las 11 horas en la sede social de la Junta de Vecinos de Guañacagua. Entre los representantes de servicios públicos que asistieron a esta primera asamblea, podemos mencionar a: SEREMI de Agricultura, Jorge Alache; Coordinador del Plan Hídrico Arica y Parinacota, Sr. Marcelo Díaz; Representante de INDAP, Sr. Oscar Fuentealba; Concejal de la I.M. de Camarones, Sr Martín Montecinos; Jefe Gabinete de la I.M. de Camarones, Sr Raúl Ibarra; Profesional de PRODESAL, Srta. María Olga Gómez. La asistencia de 50 dirigentes representativos de todos los sectores de la cuenca hidrográfica de Vítor, desde el sector de Itiza hasta Caleta Vítor, se considera altamente positiva ya que desde esta perspectiva podemos abarcar las visiones de la generalidad del valle.

En términos generales esta primera asamblea de participación ciudadana convocada fue altamente valorada por los propios dirigentes asistentes a la reunión. La presencia de 50 dirigentes representantes de prácticamente todos los sectores de la cuenca hidrográfica fue altamente provechosa. Solo el dirigente de la Comunidad Indígena sector Calaunza-Pintatane, señor José Andía no asistió a la reunión. Las preguntas realizadas por los dirigentes denotan el alto interés de éstos en el proyecto y la percepción que es un proyecto anhelado por gran parte del valle aguas abajo. Las inquietudes reflejadas en las preguntas son normales dentro de un proceso de largo aliento como el que se inicia con este estudio. Es altamente valorable que haya, estado presente en la reunión un dirigente de la comunidad de Itiza, sector donde nacen las aguas de la cuenca hidrográfica de Vítor. Asimismo, fue provechoso que la estrategia adoptada por este dirigente fuera la de escuchar y no entrar en conflicto con los dirigentes representantes de los sectores ubicados aguas debajo de pampa Umirpa.

La segunda reunión se realizó el día 12 de septiembre de 2012 en la sede social de la Junta de Vecinos del Valle de Chaca a las 11 horas. La asistencia obtenida fue de 37 dirigentes representativos de todos los sectores de la cuenca hidrográfica de Vítor, desde el sector de Itiza hasta Chaca, excepto de Caleta Vítor cuyos dirigentes no asistieron. Este nivel de asistencia se considera regular. Entre los representantes de servicios públicos que asistieron a esta segunda asamblea, podemos mencionar a: Alcalde de la I.M. de Camarones, señor Iván Romero M.; Coordinador de la Macro Zona Norte de la CNR, señor Alberto Manzanares; Coordinador del Plan Hídrico Arica y Parinacota, Sr. Marcelo Díaz; Inspectora Fiscal del proyecto, señora Tania Fernández; Directora Subrogante de la DGA, señora Cindy Ríos; Representante de INDAP, Sr. Oscar Fuentealba; Representante de la Dir.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

de Vialidad, Sr. Antonio Gallardo; Concejal de la I.M. de Camarones, Sr Martín Montecinos; Concejal de la I.M. de Camarones, Sr Víctor Altina; Jefe Gabinete alcalde I.M. de Camarones, señor Carlos Avilés.

En términos generales esta segunda asamblea de participación ciudadana convocada fue altamente valorada por los propios dirigentes asistentes a la reunión. A pesar de la asistencia evaluada como regular, con la presencia de solo 37 dirigentes representantes de casi todos los sectores de la cuenca hidrográfica, fue altamente provechosa. Las preguntas realizadas por los dirigentes denotan el alto interés de éstos en el proyecto y la percepción que es un proyecto anhelado por gran parte de los agricultores. Las inquietudes reflejadas en las preguntas son normales dentro de un proceso de largo aliento como son los estudios de embalses. Es importante resaltar la presencia en la reunión un dirigente de la comunidad de Itiza, sector donde nacen las aguas de la cuenca hidrográfica de Vítor y, según antecedentes recopilados por la consultora, los dueños legítimos de los terrenos en donde se ubicaría el embalse Umirpa[2]. Asimismo, fue provechoso que la estrategia adoptada por este dirigente fuera la de escuchar y no entrar en conflicto con la dirigente Marcela Gómez, quien llegó al final de la reunión y cuestionó el hecho que a ellos como supuestos propietarios no se les haya informado e invitado antes a conversar respecto de este proyecto.

La tercera reunión se realiza el día 19 de diciembre de 2012 a las 10 horas en la Sede Social de la Junta de Vecinos del Valle de Guañacagua. La asistencia total a la asamblea fue de 33 personas, entre dirigentes y autoridades. Este nivel de asistencia se considera malo. Sin embargo, es importante tener en consideración la fecha elegida para la realización de la asamblea. En esta época la agenda de actividades de los distintos servicios públicos está sobrecargada de eventos dirigidos a los usuarios de los diferentes programas.

Desde el punto de vista del objetivo de informar de los resultados finales del estudio, la actividad se evalúa como muy positiva, puesto que asistieron la mayoría de los integrantes de la directiva de la Junta de Vigilancia, así como el Seremi de Obras Públicas y el Seremi de Agricultura. Ambas autoridades dieron una señal muy potente en cuanto a la coordinación existente entre ambos servicios para hacer el traspaso del proyecto desde la CNR al MOP para la continuación de la etapa de factibilidad a través de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), servicio dependiente del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Sin embargo, desde el punto de vista de la asistencia de los regantes, esta última asamblea se evalúa como regular a mala (a la asamblea sólo asistieron 30 dirigentes y/o regantes). A ello contribuyó muy fuertemente la fecha elegida para dicha reunión (19 diciembre). Es importante acotar que el día lunes 17 y martes 18 hubo en Arica un seminario de aguas organizado por CONADI. Y el mismo martes 18 se realizó en Codpa la Asamblea Territorial de la comuna de Camarones, instancia organizada por CONADI donde se reúnen todos los

[2] Es importante acotar que esta comunidad ha mostrado los antecedentes legales de la propiedad de la tierra inscrita en el Conservador de Bienes Raíces de Arica.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

dirigentes de la comuna. Asimismo, la fecha coincidió con muchas graduaciones de los colegios y liceos.

Un elemento de gran valoración es el hecho de haber puesto mucho énfasis en el discurso de las autoridades de que la tarea para adelante es compartida, tanto por los servicios públicos involucrados como por los usuarios y sus organizaciones. Las intervenciones de varios dirigentes como la propia presidenta de la junta de Vigilancia, señora María Elena Condori, don Bibiano Flores, el señor Walter Palomino, director de la Junta de Vigilancia, dan cuenta de la conciencia que existe en los dirigentes respecto de esta tarea que les compete a ellos.

La logística desplegada previa a las asambleas para realizar el proceso de difusión y convocatoria estuvo acorde a lo proyectado. El apoyo prestado por el municipio de Camarones también es relevante con miras a futuras acciones de participación ciudadana.

Algunos temas que surgieron en los espacios de participación fueron la generación de energía a través de una minicentral, del riego en el sector de Chaca, el estado de los canales en cada uno de los sectores, sobre la conducción del agua hacia Chaca, los daños de la minería en la agricultura, los resultados finales del estudio, entre otros.

Las sugerencias para las futuras etapas del estudio corresponden a atender las necesidades de capacitación en temas legales y de dirigencia, que se complementen con otros programas que se están ejecutando actualmente en el sector. Los niveles de participación son buenos, por lo que se pueden mejorar, además de los niveles de empoderamiento del proyecto por parte de la comunidad.

Los objetivos planteados para la participación ciudadana en el presente estudio se han evaluado como logrados.

Los avances que se han evaluado como alcanzados son:

- Se logró posicionar el proyecto mismo en las preocupaciones de la Junta de Vigilancia y en los usuarios de las aguas de la cuenca.

- Se logró hacer conciencia en la directiva de la Junta de Vigilancia de la importancia de fortalecer su organización y las tareas pendientes que aún le restan, como son los procesos de regularización de aguas, de constitución de las comunidades y legalización definitiva y fortalecimiento de la Junta de Vigilancia misma.

- Las instancias de participación permitieron que los dirigentes de los distintos sectores de la cuenca hidrográfica se conocieran. Principalmente los dirigentes del valle de Codpa con los dirigentes de la Asociación Indígena Comunidad de Itiza.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

- Las actividades de participación ciudadana permitieron dilucidar, en gran medida, las interrogantes relacionadas a los propietarios de los terrenos ubicados en la zona del embalse, que serían la organización denominada Asociación Indígena Comunidad de Itiza.

Los elementos que se han evaluado como pendientes son:

- Integrar a los agricultores de Caleta Vítor, tanto a las reuniones como al proceso de estudios técnicos.

- Realizar una investigación más acabada de la historia de los títulos de dominio presentados por la familia Castro-Challapa, de tal forma que no hayan dudas ni equivocaciones al momento de identificar a los verdaderos dueños de los terrenos a embalsar y a quienes se deberá expropiar.

- Solicitar formalmente a CONADI un informe jurídico respecto del conflicto sostenido entre los miembros de la Asociación Indígena Comunidad de Itiza (hasta el momento dueños legítimos de los terrenos) y las personas pertenecientes a la Comunidad Indígena de Umirpa, liderada por la señora Marcela Gómez Mamani.

- Solicitar a la Comunidad Indígena de Umirpa que pueda avalar mediante documentos oficiales la propiedad de los terrenos del sector de Umirpa.

- Realizar entrevista a señora Marcela Gómez Mamani, presidenta de la Comunidad Indígena de Umirpa, con el objetivo de contrastar la historia del poblamiento del sector por parte de las dos comunidades en disputa.

- Una vez dilucidados los temas legales de propiedad de los terrenos de Umirpa, realizar una visita a terreno con los dirigentes de toda la cuenca hidrográfica. Lo ideal sería realizarla al final del estudio de factibilidad, una vez que se tengan mayores antecedentes técnicos del proyecto y mayores certezas.

A continuación se entregan algunas sugerencias para tomar en consideración en las futuras estrategias de participación ciudadana.

- Los procesos de difusión deben incluir avisos radiales en Radio Andina y la radio del Asoagro, para fortalecer la convocatoria y la difusión del proyecto mismo.

- Debe considerarse realizar cada asamblea en distintos lugares: por ejemplo una en Guañacagua, una en Chaca y otra en Codpa, de tal forma que todos los

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

usuarios se sientan incluidos a partir de la consideración de su pueblo como lugar de encuentro.

- Importante antes de fijar las fechas de las asambleas desde Santiago, consultar a la región por la agenda, y también por la agenda de otros servicios relacionados, tales como Vialidad, CONADI, u otros.

La Junta de Vigilancia del Río Codpa-Vítor, actualmente, está constituida por 63 comunidades de aguas. Ellos son los principales actores del proyecto y quienes finalmente, decidirán en votación si desean o no el embalse. Por ello su participación es relevante, partiendo por el involucramiento de su directiva en los procesos de convocatoria y difusión. Al fijar las fechas de las asambleas es importante consultarle, al menos, a la presidenta por la conveniencia de las fechas que se propongan.

En muchos casos los comuneros que son parte de la Junta de Vigilancia son también miembros de otras organizaciones sociales. Pero no al revés. Es decir, no necesariamente todos los integrantes de una junta de vecinos serán detentores de derechos de aguas. Es por ello, que si bien se les debe invitar, es importante recalcar que son los propietarios de los derechos de aguas los actores más relevantes.

De acuerdo a lo establecido durante el estudio de prefactibilidad, existe una organización que ha presentado los títulos de dominio referidos a los terrenos donde se pretende construir el embalse, esta es la Asociación Indígena Comunidad de Itiza. Será importante mantener informada a esta comunidad de los avances del proyecto, así como avanzar en dilucidar la historia de dichos terrenos, para generar certeza jurídica a la hora de expropiar.

Esta comunidad ha demostrado una buena disposición al diálogo, tanto con la empresa que realizó el estudio de prefactibilidad, como con los regantes del valle de Codpa, con el objeto de ponerse de acuerdo para ellos poder inscribir las aguas que les corresponden para el riego de sus bofedales sin que se interponga una oposición de la Junta de Vigilancia. Este proceso de generación de confianzas hay que fortalecerlo a través de reuniones entre esta comunidad y los dirigentes de la Junta de Vigilancia.

En relación a los diversos servicios públicos que se invita a las asambleas, lo siguiente:

- Importante tener en consideración la agenda de eventos de otros servicios públicos, al momento de planificar las asambleas de PAC.

- Entregar invitaciones con al menos 7 a 10 días de anticipación.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

CONCLUSIONES

Hoy en día la sociedad civil valora profundamente estos espacios de participación y diálogo entre usuarios y/o beneficiarios y las autoridades respectivas encargadas de los proyectos de inversión en el territorio que ellos ocupan. La política puesta en marcha hace ya varios años por el Estado de Chile en torno a la participación ciudadana permite no sólo informar, sino también contribuir al mejoramiento de los proyectos en carpeta y/o en ejecución.

En tal sentido el proceso de participación ciudadana generado en torno al Estudio de Prefactibilidad Embalse Umirpa, financiado por la Comisión Nacional de riego (CNR), dependiente del Ministerio de Agricultura, ha sido altamente provechoso para entablar este diálogo usuarios/autoridades.

En el valle de Codpa se percibe una comunidad bastante madura en relación a este tipo de actividades. Los procesos de fortalecimiento de las dinámicas organizacionales apoyadas a través de diversos servicios públicos en Codpa muestran sus resultados por medio de una participación activa y consciente de esta comunidad.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

18. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

Se realizó un acabado estudio de prefactibilidad del embalse Umirpa, concebido para asegurar el riego de la Quebrada de Vítor desde el sector de Vila Vila hasta el Sector de Chaca. Como resultado del proyecto, se tienen las siguientes conclusiones:

1. Se recorrió el valle y se definieron varias alternativas de sitios posibles para emplazar la presa, de este análisis de sitios, se propuso como el más viable una angostura existente en el río Codpa aproximadamente 40,0 km aguas arriba de la localidad de Codpa, en el sector de Pampa Umirpa.

2. Como resultado de la evaluación realizada en esta consultoría, se sugiere que el tipo de presa más conveniente sea la de hormigón rodillado, especialmente por las características geomorfológicas de su garganta en el sitio propuesto, su condición de autovertedora de crecidas, que permite evitar la excavación por la ladera de un gran macizo rocoso para el vertedero, que sí requieren los otros tipos de presa.

3. La angostura en donde se propone proyectar el emplazamiento del muro, presenta condiciones geomorfológicas adecuadas y su área de inundación no presentaría problemas en lo que respecta a infraestructura ni producción agrícola, con la sola excepción de una variante caminera que debe construirse, ya que el actual camino queda dentro de la zona que será inundada.

4. El espejo de agua de la tasa de acumulación del embalse analizado, es amplio, y por ende, presenta una tasa evaporación relevante. Se descarta el uso de algún tipo de tecnología para la reducción de la evaporación por su alto costo y poca certeza de buenos resultados.

5. La roca en el lecho del río, de acuerdo a los análisis realizados, se encuentra a tan sólo 4 metros de profundidad lo que facilita la constructibilidad de las obras del muro y reduce los costos. Además, presenta características favorables para el apoyo de un muro de hormigón rodillado.

6. Los sectores de empréstitos necesarios para la construcción de la obra serían suficientes para la construcción del muro y de sus obras anexas.

7. El área de estudio presenta, en general, condiciones de clima apropiadas para el desarrollo de una agricultura intensiva basada en una explotación amplia de cultivos, tales como: frutales de hoja perenne y caduca, parronales y vides viníferas y hortalizas. Los suelos presentan las características necesarias para su utilización agrícola. Las áreas de riego están limitadas por las laderas del valle que desde un punto hacia arriba presentan pendientes muy escarpadas que hacen imposible su aprovechamiento. Con respecto a la calidad de aguas, ésta no presenta

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

restricciones significativas, sin embargo se deben establecer algunas precauciones con los niveles de conductividad eléctrica, hierro, sodio, cadmio y boro presentes en algunas de las mediciones y que sobrepasan la norma chilena de calidad de agua para riego 1.333.

8. Con respecto al estudio agroeconómico, el tipo de agricultores presentes actualmente en el área de estudio practica una agricultura de riego en la mayoría de los casos sólo con fines de subsistencia. El tamaño predial es el característico de los valles precordilleranos del norte grande, es decir, terrenos muy pequeños, en su mayoría con una superficie menor a 0,5 ha, y escasa existencia de predios con más de 10 ha. Además existen terrenos que se encuentran deshabitados y sus propietarios viven en localidades fuera del valle.

9. Las características de los agricultores y el 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 permitirá implementar nuevos cultivos y una producción más intensiva y rentable en el área de estudio. En la evaluación agroeconómica se han contemplado los costos de inversión y mantención anual de sistemas de aspersión y goteo para alfalfa y frutales, respectivamente.

   Los cambios propuestos no podrán 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 de riego con un mayor nivel tecnológico. Por ello se ha propuesto un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica que involucra a todos los agricultores beneficiados por el embalse, el cual tendrá una duración variable dependiendo del tipo de predio participe. Este ámbito es clave para aumentar las posibilidades de desarrollo de los agricultores.

10. Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola en un escenario con proyecto, en el cual destaca que los puestos de trabajo permanente se incrementarían en más de cuatro veces, evolución que corresponde a 118 unidades de nuevas plazas de colocación. Teniendo en consideración la demanda de mano de obra permanente en situación actual, del orden de 10.361 jornadas, y la estimada en plena madurez del proyecto, año 2032 con 44.298 jornadas de trabajo permanente; la tasa interanual de crecimiento de los requerimientos de mano de obra, entre ambas situaciones, alcanza a 7,164%.

11. Como recomendación es necesario mencionar que para futuras etapas del estudio, se debe construir un catastro de usuarios en terreno más actualizado, que contenga información sobre el Rol SII, nombre del usuario y del predio, superficies de riego y secano, además de las acciones asociadas al predio.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

12. Para hacer posible la construcción y traspaso de las obras, de acuerdo a lo estipulado en el DFL 1123 de 1983 y sus modificaciones, los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales deben ser perfeccionados según lo indicado en el código de aguas, mencionando el nombre del titular, ubicación exacta del punto de captación, caudal en volumen por unidad de tiempo y características con que se otorga o reconoce el derecho, esto es, si se trata de un derecho consuntivo o no consuntivo; de ejercicio permanente o eventual; o de ejercicio continuo, discontinuo o alternado entre varias personas.

Luego de cumplirse el perfeccionamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas se debe contemplar un período de explotación provisional de las obras durante el cual se elaborará el rol de regantes definitivo del embalse y se constituirá la organización de usuarios de las aguas, a la cual se le efectuará el traspaso de las obras. De esta forma, la organización de usuarios de las aguas del embalse Umirpa tendrá como objetivo operar el embalse, distribuir las aguas reguladas de acuerdo con los derechos, operar los canales y velar por la seguridad y mantención de las obras, sin perjuicio de otras labores que le correspondan de acuerdo al Código de Aguas.

13. En definitiva, el proyecto tiene un impacto significativo en el sector agropecuario, tanto en términos económicos y sociales, ya que incluso pretende provocar un cambio en la cultura agrícola, con rasgos ancestrales, y dar un impulso a una agricultura de riego desarrollada.

14. El estudio de los recursos hídricos y modelo de simulación, sugiere que es factible darle 85% de seguridad de riego a la superficie actual, e incluso indicó que es posible aumentar la superficie segura, alcanzando el máximo de tierra productiva indicada en el estudio agroeconómico (592,3 ha si se considera una tubería en el tramo de Ofragía-Chaca y 550,3 ha sin esta obra). En todo caso, se recomienda en la etapa de factibilidad se incorpore al área de estudio el sector de Caleta de Vítor, que no fue incorporado en este análisis.

15. A pesar de que en este estudio se generó un modelo simplificado de simulación del sistema hidrogeológico de la Quebrada de Vítor, es necesario realizar un análisis más acabado del comportamiento del acuífero presente en el sector de Chaca, incluyendo datos de recarga, profundidad, niveles históricos entre otros, de manera de perfeccionar las estimaciones de recarga, flujos subterráneos, flujos sub-superficial y percolación de éste.

16. Respecto a la generación hidroeléctrica, los resultados obtenidos indican que con los valores actuales del costo de energía, dicho proyecto no es económicamente rentable a nivel local y tampoco si se considera un enlace con el sistema interconectado del norte Grande (SING). En el caso de que se quisiera realizar el proyecto a nivel local en el sector de Chaca, se debería subsidiar alrededor del 60% del costo de la energía.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

17. Respecto al control de crecidas, la inclusión de una barrera en el río Codpa, en el punto elegido para el emplazamiento del proyecto, genera beneficios sobre el valle, ya que este será sometido a caudales menores a los esperados. Este efecto se debe a la morfología del área de inundación del embalse, que puede incrementar en gran medida su volumen, con aumentos menores de su nivel de agua. A pesar de ello, los beneficios asociados al efecto regulador del embalse, que ascienden aproximadamente $11.000.000 anuales en el caso más favorable (mayor tamaño de embalse), no son comparables con los obtenidos directamente por el sector agrícola.

18. En las actividades de Participación Ciudadana realizadas, tanto entrevistas a actores relevantes, como reuniones con los potenciales beneficiados por el futuro embalse, se ha verificado una percepción favorable hacia el proyecto, por parte de los agricultores como también de las autoridades locales. El interés por el proyecto ha quedado demostrado por la convocatoria de las reuniones realizadas. En estas actividades se identificaron facilitadores del proyecto, tales como; dirigentes de las organizaciones de usuarios de aguas y los propietarios del terreno en donde se emplazaría el embalse.

19. Con el fin de hacer más sustancial el efecto participación ciudadana en las futuras etapas del estudio, se recomienda incorporar un componente de capacitación y fortalecimiento organizacional, tanto desde el punto de vista técnico como legal, el que ayudará de sobremanera a los beneficiarios a enfrentar un eventual proceso de construcción y traspaso de las obras, constitución de los derechos de aguas y conformación de organizaciones de usuarios de aguas. Además se sugiere que se implementen actividades de participación de carácter diferenciado en función de los efectos que pudiera tener el proyecto en distintos grupos en el área de estudio.

20. Desde la perspectiva ambiental, la alternativa de embalse estudiada resultó ser la menos favorable, pero la más atractiva desde el punto de vista técnico, lo cual deja un menor margen de acción en lo que a minimización de impactos se refiera ya que la ubicación es primordial en este sentido. Sin embargo, también se debe tener en cuenta que la obra sólo puede ser construida en los lugares técnicamente factibles.

    Respecto del análisis de pertinencia de ingreso al SEIA, se concluye, que el proyecto deberá someterse al SEIA como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), ya que es sabido que el tipo de obra estudiada en el presente Proyecto genera impactos ambientales relevantes e irreversibles 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 m y p) del Reglamento del SEIA. Los componentes más afectados serían Flora y Vegetación terrestre seguido de la hidrología, lo cual resulta esperable a la luz de los antecedentes del medio biótico levantados en terreno (especies endémicas y con estados de conservación)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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

y al tipo de obra. Debe tenerse en cuenta que la evaluación acá efectuada es de carácter relativa, es decir, los valores obtenidos no son comparables con otros estudios de otros sectores ni con otro tipo de proyectos, por lo cual el presente análisis sólo permite dar relevancia a aquellos componentes que podrían verse más afectados y dirigir los esfuerzos a minimizar estos impactos mediante los planes de manejo ambiental.

21. De acuerdo con la evaluación económica realizada con el método del presupuesto, el proyecto no es rentable a precios de mercado para todas las alternativas de embalse, es decir el VAN privado y la TIR son siempre menores a cero y 12%, respectivamente. A precios sociales el proyecto sin tubería en el tramo entre Ofragía y Chaca obtiene mejores resultados en comparación con el proyecto que sí la considera. Además, dentro del proyecto sin tubería, el tamaño óptimo a recomendar es 18,1 hm^3 de volumen umbral, ya que es el más rentable en términos sociales, con un VAN igual a MM$1.652,1, TIR de 6,87% y un indicador IVAN igual a 0,17.

Para el caso de los métodos del valor incremental de la tierra y de las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas el proyecto es conveniente para todas las alternativas, siendo la con mejores resultados la alternativa de 18,1 hm^3.

La mayor parte de los beneficios que determinan esta rentabilidad provienen del uso para la agricultura de riego, dejando en un muy segundo plano a los beneficios derivados del control de crecidas.

22. Con respecto a la evaluación financiera es importante 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, lo que trae como consecuencia que el subsidio propuesto sea, en la mayoría de los predios analizados, sobre el 90%, y en la mitad de los casos sobre el 99%. Solo en el sector 3 se registran predios en donde el subsidio es menor al 75%.

23. A pesar de que el proyecto resulta rentable a precios sociales para un volumen igual a 18, hm^3 con o sin tubería, el análisis de sensibilidad muestra que existe un riesgo moderado de que el proyecto se vuelva no rentable. Ante esto es necesario que en la etapa de factibilidad se pueda estudiar con más detalle los beneficios agrícolas y los costos de las obras, además realizar un análisis de riesgo detallado que entregue mayor información acerca de la fortaleza del proyecto.

24. Como externalidades positivas del proyecto se pueden mencionar el desarrollo de actividades turísticas, conformación de un nuevo polo de desarrollo productivo, aumento de mano de obra utilizada y el arraigo de la población en el área de estudio.

25. Finalmente, dada la rentabilidad social positiva del proyecto en esta etapa, se recomienda continuar con la etapa de factibilidad, considerando un

embalse de 18,1 hm^3 de volumen Umbral, que tiene la potencialidad de aumentar el área agrícola por sobre las 550 ha en el Valle de Vítor.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
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