CNR-0383_v1

02799

ESTUDIO BÁSICO ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE, VI REGIÓN

INFORME FINAL

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2014

CNR
Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

CNR
Ministerio de Agricultura

Gobierno de Chile

ESTUDIO BÁSICO ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE, VI REGIÓN

INFORME FINAL

SANTIAGO, DICIEMBRE 2014

CON POTENCIAL
CONSULTORES

COMISION NACIONAL DE RIEGO

Secretario Ejecutivo

Sr. Patricio Grez Marchant

Jefe División de Estudios, Desarrollo y Políticas

Sra. María Loreto Mery Castro

Coordinador Técnico

Sr. Guillermo Piñones Aguilera

CON POTENCIAL CONSULTORES

Jefe de Proyecto

Alejandro Arenas H.

Profesionales

Juan Torres C.

Alejandro de la Barra R.

Carlos Faundes A.

Marco Matamala C.

Macarena Bustamante A.

Fernando Valdés H.

Juan Carlos Richard C.

Diego Soza Z.

Rodrigo Arenas H.

Alberto Arenas H.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 Generalidades 1

1.2 Objetivo del Estudio 3

1.2.1 Objetivo General 3

1.2.2 Objetivos Específicos 3

1.3 Localización Geográfica 4

1.4 Recarga Artificial de Acuíferos 6

1.4.1 Métodos de Recarga Artificial 6

1.4.2 Experiencias Internacionales 8

1.4.3 Experiencias Nacionales 12

2 CARACTERIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO 23

2.1 Descripción General 23

2.1.1 Caracterización Cuenca Marchigüe-Las Cadenas 25

2.1.2 Estimación hidrológica en puntos de interés 44

2.2 Análisis Geológico Preliminar de la Región de O'Higgins. 56

2.2.1 Marco Geológico Regional 56

2.2.2 Geología Local 62

2.3 Calidad del Agua del Acuífero en el Área de Estudio 69

2.4 Hidrogeología 77

2.4.1 Hidrogeología Local 77

2.4.2 Pozos en la Zona de Estudio 81

2.4.3 Estratigrafía en Habilitación de Pozos (Registro DGA) 84

2.4.4 Transmisibilidad, Conductividad Hidráulica y Coeficiente de Almacenamiento 92

2.4.5 Porosidad Efectiva 98

2.4.6 Características Químicas de los Materiales Presentes en la Formación Geológica. 98

2.4.7 Existencia de Bolsones de Mayor Permeabilidad. 99

2.5 Geofísica 99

3 ZONAS POTENCIALES DE RECARGA ARTIFICIAL 102

3.1 Generalidades 102

3.2 Definición de Zonas Potenciales de Recarga Artificial 103

3.3 Exploraciones Realizadas 107

3.4 Condiciones Legales 107

3.5 Disponibilidad de Agua para Recarga Artificial 112

3.5.1 Generalidades 112

3.5.2 Canal Población 113

3.5.3 Estero Las Cadenas 114

4 TRABAJOS REALIZADOS EN TERRENO 115

4.1 Reconocimiento Inicial del Terreno 115

4.1.1 Introducción 115

4.1.2 Sectores visitados 115

4.2 Registro de Niveles de Agua Subterránea 121

4.2.1 Introducción 121

4.2.2 Selección de Pozos 122

4.2.3 Metodología de Trabajo en Terreno 122

4.2.4 Desarrollo 123

4.2.5 Conclusiones y Comentarios 130

4.3 Caracterización Litológica de Eventuales Puntos de Recarga 130

4.3.1 Actividades Realizadas 130

4.3.2 Litología de las Calicatas Excavadas 132

4.4 Ensayos de Infiltración 148

4.4.1 Introducción 148

4.4.2 Marco Teórico 149

4.4.3 Ensayo de Infiltración en Calicata Nº2 149

4.4.4 Ensayo de Infiltración en Calicata Nº6 151

4.4.5 Conclusiones 160

4.5 Calidad de las Aguas 161

4.5.1 Metodología de Muestreo de Aguas Frías 161

4.5.2 Actividades Realizadas 163

4.5.3 Resultados Análisis de Calidad de Agua 164

5 CAMBIOS EN LA CONCEPCIÓN ORIGINAL DEL PROYECTO 173

5.1 Diseño y Metodología del Nuevo Piloto Propuesto 174

5.2 Descripción del Proyecto 176

5.2.1 Ubicación Dique – Vertedero 177

5.2.2 Descripción del Dique - Vertedero. 178

5.2.3 Descripción Red Piezométrica 179

5.2.4 Instrumentación. 180

5.2.5 Criterios de Diseño 180

5.3 Memoria Hidráulica 182

5.3.1 Introducción 182

5.3.2 Objetivos y Alcances 183

5.3.3 Revisión de Antecedentes 184

5.3.4 Dimensionamiento de la sección de vertedero en el dique 189

5.3.5 Procedimiento de Control y Análisis del Sistema 205

5.3.6 Sobre la Determinación del Volumen de Control 209

5.3.7 Comentarios sobre la Variable Pluviométrica 209

6 EJECUCIÓN DEL PROYECTO BALSA ESTERO LAS CADENAS 211

6.1 Construcción de Obras Civiles 211

6.2 Construcción y Habilitación de Pozos de Monitoreo 219

7 PROGRAMA DE MONITOREO 227

7.1 Mediciones de Niveles Superficiales en Esteros 227

7.2 Meteorología 232

7.3 Mediciones de Nivel Freático en Red de Monitoreo 234

8 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 237

8.1 Variación Niveles de Caudal/Precipitaciones 237

8.2 Variación Niveles Freáticos 241

8.3 Volumen de Recarga 247

8.4 Transmisividad y Conductividad Hidráulica 248

8.4.1 Transmisividad 249

8.4.2 Conductividad Hidráulica 250

8.5 Caudal Infiltrado 251

9 INFORME DESMANTELAMIENTO MURO CADENAS 253

9.1 Desmantelamiento Muro Cadenas 253

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 259

10.1 Conclusiones 259

10.2 Recomendaciones 261

11 REFERENCIAS 263

ANEXOS:

Anexo A : ESTUDIO HIDROLÓGICO

Anexo B : ANÁLISIS LEGAL DE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

Anexo C : CAMPAÑA DE TERRENO

Anexo D : DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA LITOLÓGICA

Anexo E : PERMEÁMETRO DE GUELPH

Anexo F : NORMAL DE CALIDAD DE AGUAS

Anexo G : PLANOS DE OBRAS DE MURO

Anexo H : FICHAS ESTRATIGRÁFICAS POZOS HABILITADOS

Anexo I : VALORES REPRESENTATIVOS DE POROSIDAD

ÍNDICE DE LÁMINAS

Lámina 1.1: Sector del Estudio. 5

Lámina 2.1: Estaciones de la Red Hidrométrica Nacional (R.H.N-DGA)..... 29

Lámina 2.2: Red Hídrica Superficial de la Cuenca del Estero Las Cadenas. 31

Lámina 2.3: Red Hídrica Superficial de la Cuenca del Estero Peralillo. 32

Lámina 2.4: Red Hídrica Superficial de la Cuenca del Estero Yerbas Buenas. 33

Lámina 2.5: Geología General del Área de Estudio. 58

Lámina 2.6: Geología Detalle del Área de Estudio 66

Lámina 2.7: Muestreo de Calidad de Agua en Expedientes DGA de Habilitación de Pozos. 74

Lámina 2.8: Hidrología del Área del Estudio. 80

Lámina 2.9: Evolución Equipotencial. 82

Lámina 2.10: Evolución Profundidades Freáticas. 83

Lámina 2.11: Ubicación de Perfiles Estratigráficos. 86

Lámina 2.12: Perfil Estratigráfico 1 A-B. 87

Lámina 2.13: Perfil Estratigráfico 2 C-D. 88

Lámina 2.14: Perfil Estratigráfico 3 E-F. 89

Lámina 2.15: Perfil Estratigráfico 4 G-H. 90

Lámina 2.16: Isotransmisibilidad 97

Lámina 3.1: Zonas Potenciales de Recarga. 106

Lámina 3.2: Ubicación Derechos Superficiales Otorgados. 111

Lámina 4.1: Ubicación de Pozos Catastrados en Terreno. 124

Lámina 4.2: Isoprofundidad Estática de Pozos. 128

Lámina 4.3: Equipotenciales Niveles Freático. 129

Lámina 4.4: Ubicación de Calicatas. 134

Lámina 5.1: Área de Infiltración 185

Lámina 7.1: Red de Monitoreo 231

Lámina 8.1: Evolución de Niveles en el Acuífero 242

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Métodos de Recarga Artificial 6

Figura 1.2: Sistemas de Recarga en Profundidad. 8

Figura 1.3: Proyecto Desarrollado por la DOH del MOP, al Noreste del Pueblo de Curimón. 15

Figura 1.4: Obra de Toma desde Canal Curimón. 16

Figura 1.5: Obra de toma desde Canal de Regadío, Sector Sur. 16

Figura 1.6: Laguna Decantadora. 17

Figura 1.7 Obra de Traspaso entre Piscina Decantadora y Primera Laguna de Infiltración. 17

Figura 1.8: Primera Laguna de Infiltración. 18

Figura 1.9: Proyecto Desarrollado por CNR, en Ribera Sur del Río La Ligua. 19

Figura 1.10: Embalse de Regulación del Sistema de Infiltración. 20

Figura 1.11: Aducción entre el Embalse y la Primera Laguna de Infiltración..... 21

Figura 1.12: Laguna de Infiltración Nº1. 22

Figura 1.13: Lagunas de Infiltración Nº2 y Nº3..... 22

Figura 2.1: Precipitaciones Mensuales Estaciones en el Sector del Estudio..... 38

Figura 2.2: Precipitaciones para Diferentes Probabilidades de Excedencia. 40

Figura 2.3: Isoyetas de Precipitación Anual de 50% de Probabilidad de Excedencia (Fuente: DGA S.D.T. Nº 209). 41

Figura 2.4: Isoyetas de Precipitación Anual de 85% de Probabilidad de Excedencia (Fuente: DGA S.D.T. N° 209). 42

Figura 2.5: Isoyetas de Precipitación Anual de 15% de Probabilidad de Excedencia (Fuente: DGA S.D.T. N° 209). 43

Figura 2.6: Valores Medios de la Serie de Caudales Medios en Estero Chimbarongo en Sta. Cruz (1945-1980). 46

Figura 2.7: Caudales Medios Mensuales para Diferentes Probabilidades de No Excedencia..... 47

Figura 2.8: Diagrama Unifilar Canal Población (REG Ingenieros, 1982 Tomo II). 50

Figura 2.9: Análisis de Frecuencia Caudales Medios Mensuales Estero Las Cadenas en Trinidad y Los Maitenes. 55

Figura 2.10: Unidades Geomorfológicas, Región de O'Higgins. (Börgel, 1983) .. 63

Figura 2.11: Estudio Geofísico. 101

Figura 4.1: Pozo de la Comunidad de Parceleros Santa Ana. 116

Figura 4.2: Depósitos de Cenizas del Yacimiento Las Pataguas. 118

Figura 4.3: Depósitos de Cenizas del Yacimiento Las Pataguas. 118

Figura 4.4: Tranque de Término de Canal Población. 119

Figura 4.5: Corte del Terreno al Norte de Marchigüe. 120

Figura 4.6: Se Aprecia Material Granular Redondeado. 120

Figura 4.7: Pozómetro de 100m y GPS de Posición y Altitud. 122

Figura 4.8: Excavación de la Calicata N°1. 133

Figura 4.9: Interior de la Calicata Nº1. 135

Figura 4.10: Excavación de la Calicata Nº2. 135

Figura 4.11: Interior de la Calicata Nº2. 136

Figura 4.12: Excavación de la Calicata Nº3. 137

Figura 4.13: Interior de la calicata Nº3, Inundada. 137

Figura 4.14: Excavación de la Calicata Nº4. 138

Figura 4.15: Interior de la Calicata Nº4, Inundada. 139

Figura 4.16: Interior de la Calicata Nº5, Inundada. 139

Figura 4.17: Calicata Nº6. 140

Figura 4.18: Calicata Nº7. 141

Figura 4.19: Calicata Nº8. 142

Figura 4.20: Calicata Nº9. 142

Figura 4.21: Calicata Nº10. 143

Figura 4.22: Calicata Nº11. 144

Figura 4.23: Calicata Nº12. 145

Figura 4.24: Material Encontrado en Calicata Nº12. 145

Figura 4.25: Calicata Nº13. 146

Figura 4.26: Calicata Nº14. 147

Figura 4.27: Calicata Nº15. 147

Figura 4.28: Noria Albino Moreno.....148

Figura 4.29: Ensayo de infiltración en Calicata Nº2. 151

Figura 4.30: Calicata Nº6, Excavación Cilíndrica para Ensayo de Infiltración....152

Figura 4.31: Calicata Nº6, Permeámetro de Guelph. 152

Figura 4.32: Calicata Nº6, Ensayo de Infiltración. 153

Figura 4.33: Camioneta con Estanques de Agua. 155

Figura 4.34: Regla Adosada al Permeámetro. 156

Figura 4.35: Primer Ensayo de Infiltración en Calicata Nº6.....156

Figura 4.36: Segundo Ensayo de Infiltración en Calicata Nº6.....158

Figura 5.1: Coordenadas UTM vértices Eje Dique-Vertedero 191

Figura 5.2: Modelación HEC-RAS Alcantarilla en Badén de aguas abajo – Estero Las Cadenas.....192

Figura 5.3: Modelación HEC-RAS del Dique-Vertedero 193

Figura 5.4 Sección de Vertedero Predimensionada (Imagen HEC-RAS 4.1).....194

Figura 5.5: Comportamiento del Vertedero – HEC-RAS 4.1 197

Figura 5.6: Superposición Ejes Hidráulicos con y sin Proyecto.....199

Figura 5.7:: Superposición Ejes Hidráulicos con y sin Proyecto 201

Figura 5.8: Superposición Ejes Hidráulicos con y sin Proyecto.....201

Figura 6.1: Fotografía 1.....211

Figura 6.2: Fotografía 2.....212

Figura 6.3: Fotografía 3 213

Figura 6.4: Fotografía 4 213

Figura 6.5: Fotografía 5 214

Figura 6.6: Fotografía 6 215

Figura 6.7: Fotografía 7 215

Figura 6.8: Fotografía 8 216

Figura 6.9: Fotografía 9 216

Figura 6.10: Fotografía 10 217

Figura 6.11: Fotografía 11 217

Figura 6.12: Fotografía 12 218

Figura 6.13: Fotografía 13 218

Figura 6.14: Habilitación Pozo PM4 219

Figura 6.15: Descripción Pozo Monitoreo PM1 221

Figura 6.16: Descripción Pozo Monitoreo PM2 221

Figura 6.17: Descripción Pozo Monitoreo PM3 222

Figura 6.18: Descripción Pozo Monitoreo PM4 222

Figura 6.19: Descripción Pozo Monitoreo PM5 223

Figura 6.20: Descripción Pozo Monitoreo PME1 223

Figura 6.21: Descripción Pozo Monitoreo PME2 224

Figura 6.22: Descripción Pozo Monitoreo PME3 224

Figura 6.23: Descripción Pozo Monitoreo PME4 225

Figura 6.24: Descripción Pozo Monitoreo PME5 225

Figura 6.25: Línea de Tiempo 226

Figura 7.1: Técnico Con Potencial Extrayendo Registros de Niveles en Pozo PM2 227

Figura 7.2: Sensor Instalado en Dique Estero Las Cadenas 228

Figura 7.3: Sensor Instalado en Estero Las Rosas 229

Figura 7.4: Sensor Instalado en Estero Yerbas Buenas 229

Figura 7.5: Gráficas de Niveles Superficiales en Esteros 230

Figura 7.6: Estaciones Pluviométricas en Tiempo Real Cercanas al Área de Estudio. 232

Figura 7.7: Precipitaciones en Estación Río Cachapoal en Puente Arqueado 31/07/2014 – 17/11/2014. 233

Figura 7.8: Profundidades Freáticas Registradas por Instrumental en Pozos 236

Figura 8.1: Registro de Nivel de Agua en los Cauces y Precipitaciones. 240

Figura 8.2: Registro de Niveles Continuos en el Tiempo. 245

Figura 8.3: Cono de Infiltración Producido. 246

Figura 8.4: Cono de Infiltración Esperado. 247

Figura 8.5 : Aumento Niveles en Polígono Monitoreado 248

Figura 8.6: Zona Potencial de Recarga 252

Figura 9.1: Estado previo al desmantelamiento. 253

Figura 9.2: Retroexcavadora trabajando en el desmantelamiento (Vista 1). 254

Figura 9.3: Retroexcavadora trabajando en el desmantelamiento (Vista 2). 254

Figura 9.4: Retroexcavadora trabajando en el desmantelamiento (Vista3). 255

Figura 9.5: Ribera norte del estero tras desmantelamiento. 256

Figura 9.6: Ribera sur del estero tras desmantelamiento. 256

Figura 9.7: Estero tras desmantelamiento.....257

Figura 9.8: Reparación ribera. 258

Figura 9.9: Estado final tras desmantelamiento. 258

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Caracterización Climática (Fuente: Registro DGA)..... 28

Tabla 2.2: Estaciones Fluviométricas y Pluviométricas DGA. (Fuente: Registros DGA)..... 30

Tabla 2.3: Información General de Estaciones Meteorológicas Disponibles (Fuente Registros DGA)..... 35

Tabla 2.4: Precipitación Media Mensual y Anual en Estaciones Meteorológicas (mm) (Fuente: Registros DGA)..... 37

Tabla 2.5: Caudales Medios Mensuales Estero Chimbarongo..... 46

Tabla 2.6: Caudales Medios Mensuales Estero Chimbarongo, Distintas Probabilidades de No Excedencia. 47

Tabla 2.7: Promedio de la Serie de Caudales Medios Mensuales en Estero Chimbarongo. 48

Tabla 2.8: Caudales Medios Mensuales (m^3/s) Registrados en Canal Población en Bocatoma. 49

Tabla 2.9: Análisis de Frecuencia de Caudales Medios Mensuales Estero Las Cadenas en Trinidad y Los Maitenes..... 54

Tabla 2.10: Registro Calidad de Agua de Pozos. (Fuente: Información Recopilada de los Expedientes de Pozos DGA) 75

Tabla 2.11: Parámetros Elásticos en el Área de Estudio. 94

Tabla 3.1: Caudales Estimados para los Sectores de Estudio. 104

Tabla 3.2: Ensayos de Infiltración. 107

Tabla 3.3: Derechos Constituidos en el Estero Las Cadenas (l/s)..... 108

Tabla 3.4: Derechos Constituidos en el Estero Chequén (l/s)..... 108

Tabla 3.5: Puntos de Captación VT-0603-2016..... 108

Tabla 3.6: Derechos de Agua Superficial Inscritos en CBR de Peralillo y Santa Cruz..... 110

Tabla 3.7: Caudales Mensuales en Bocatoma del Canal Población (m^3/s) (Fuente: Junta de Vigilancia Estero Chimbarongo)..... 113

Tabla 3.8: Caudales Medios Mensuales, Estero Las Cadenas en Marchigüe..... 114

Tabla 4.1: Pozos Catastrados en Campaña de Terreno..... 125

Tabla 4.2: Ubicación de Calicatas..... 131

Tabla 4.3: Ensayo de infiltración en calicata Nº2..... 150

Tabla 4.4: Primer Ensayo de Infiltración en Calicata Nº6..... 154

Tabla 4.5: Segundo Ensayo de Infiltración en Calicata Nº6..... 159

Tabla 4.6: Segundo Ensayo de Infiltración en Calicata N°6..... 160

Tabla 4.7: Resultados Análisis Calidad de Agua..... 166

Tabla 5.1: Red de Monitoreo de Niveles Freáticos..... 189

Tabla 5.2: Q(Pexc = 50%) - Estero Las Cadenas..... 190

Tabla 5.3: Output HEC-RAS 4.1 Comportamiento Hidráulico de vertedero PF1 ($Q(Pexc=50\%)_{junio}$ = 4,6 (m^3/s))..... 196

Tabla 5.4: Output HEC-RAS 4.1 Comportamiento Hidráulico de vertedero PF2 ($Q(Pexc=50\%)_{julio}$ = 3,2 (m^3/s))..... 198

Tabla 5.5: Output HEC-RAS 4.1 Comportamiento Hidráulico de vertedero PF3 ($Q(Pexc=50\%)_{agosto}$ = 2,3 (m^3/s)) 198

Tabla 5.6: Output HEC-RAS 4.1 Comportamiento Hidráulico de vertedero PF4 ($Q(Pexc=50\%)_{julio}$ = 0,9 (m^3/s)) 199

Tabla 5.7: Análisis de Desborde con Proyecto 203

Tabla 5.8: Análisis de Desborde Sección "20" Sin Proyecto 204

Tabla 5.9: Análisis de Desborde Sección "20" Con Proyecto 205

Tabla 5.10: Tabla Tipo con Datos Directos e Indirectos de Terreno 207

Tabla 5.11: Tabla Tipo de Datos y Resultados 208

Tabla 6.1: Conductividad Hidráulica según Material. 220

Tabla 7.1: Ubicación Relativa a la Zona en Estudio de las Estaciones Pluviométricas. 232

Tabla 7.2: Red de Monitoreo (Registro 25/06/2014 y 27/10/2014 de niveles) .234

Tabla 7.3: Registros Puntuales de Red de Monitoreo 235

Tabla 8.1: Período de Registro de los Sensores. 237

Tabla 8.2: Transmisividad Hidráulica. 249

Tabla 8.3: Conductividad Hidráulica. 251

Tabla 8.4: Caudal Total Infiltrado 252

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El presente reporte corresponde al Informe del estudio Análisis Alternativas Piloto Recarga Artificial Marchigüe.

La Comisión Nacional de Riego (CNR), a partir de un diagnóstico nacional, reconoció la necesidad de innovar para aprovechar más eficientemente nuestros recursos hídricos, a través de la creación de un Plan de Infiltración de Napas Subterráneas, complementario al Plan Nacional de Embalses.

El objetivo de proyectos piloto de infiltración de napas subterráneas es investigar la recarga artificial de acuíferos mediante sistema de lagunas o pozos de infiltración, a fin de mejorar la disponibilidad del agua. Fruto de esta política, la CNR está realizando iniciativas pioneras en Chile, y recientemente ha inaugurado la primera experiencia piloto de recarga artificial en el acuífero de La Ligua-Petorca, con una capacidad de infiltración de 9.000 (m^3/día).

Atendiendo al objetivo del Plan de Infiltración de Napas Subterráneas, la CNR ha asignado a **Con Potencial Consultores**, mediante un proceso de licitación, el desarrollo del estudio denominado "ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE", correspondiendo el presente reporte al Informe Final del estudio en desarrollo.

La recarga artificial de un acuífero, también llamada Gestión de la Recarga de Acuíferos (GRA) o *Managed Aquifer Recharge* (MAR), es un método de gestión hídrica que permite introducir agua en los acuíferos subterráneos en períodos de abundancia del recurso. En general, se emplea agua de buena calidad y pretratada, aunque hay experiencias de recarga con aguas residuales. Una vez

almacenada el agua en los acuíferos, esta puede ser extraída en períodos de escasez para distintos usos, por ejemplo para agua potable o riego.

El agua puede proceder de ríos, depuradoras, escorrentía urbana, desaladoras o humedales entre otros orígenes. Es introducida al acuífero mediante obras tales como zanjas, embalses, pozos, sondeos de inyección, generalmente en invierno. Esta agua es almacenada en el acuífero en cantidad superior a lo normal, y sigue su circuito natural subterráneo, depurándose durante un período de tiempo variable. Más tarde es extraída y empleada para diferentes usos como abastecimiento y regadío, generalmente con una calidad adecuada. Esta técnica puede provocar un impacto ambiental (positivo o negativo) sobre la cantidad y la calidad de las masas de agua.

La infiltración o recarga artificial de acuíferos es un sistema que ha resultado exitoso en países como Estados Unidos, Australia, Alemania, Holanda y España. Esta tecnología utiliza el mismo principio de las recargas subterráneas naturales, donde es posible producir un aumento en la infiltración y de esta forma subir el nivel del embalse subterráneo aprovechando los excedentes superficiales. Es decir, se comporta como un sistema de acumulación de agua, a una escala menor que un embalse, con costos y tiempos de ejecución menores a éstos.

Considerando lo anterior, se aprecia lo importante que puede resultar el desarrollo de proyectos de recarga artificial de acuíferos en nuestras cuencas, debido a que en el período de abundancia de recursos hídricos superficiales una parte importante de ellos no es aprovechada, perdiéndose para su uso al descargar los cauces naturales en el mar, en desmedro de los recursos de aguas subterráneas disponibles en el período de mayor demanda.

1.2 Objetivo del Estudio

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un estudio para la recarga artificial del acuífero Las Cadenas-Marchigüe, desarrollando una metodología para identificar las posibles zonas de recarga y realizar dos proyectos piloto de recarga artificial de sus acuíferos (PPRAA).

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Analizar la información topográfica, geomorfológica, edafológica, geológica, hidrológica e hidrogeológica existente para la identificación de sitios de emplazamiento para dos PPRAA.

b) Identificar la disponibilidad de aguas superficiales para distintas probabilidades de excedencia a ser utilizadas en las experiencias de los PPRAA seleccionados y estudiar la viabilidad legal de su utilización.

c) Determinar la compatibilidad de la calidad del agua superficial a recargar con la del acuífero receptor.

d) Identificar zonas potenciales de recarga y seleccionar los sitios para ambos PPRAA.

e) Definir la metodología a utilizar en PPRAA de acuerdo con las condiciones hidrogeológicas existentes.

f) Determinar las constantes elásticas del acuífero a recargar.

g) Diseñar las obras hidráulicas necesarias para el desarrollo del (de los) PPRAA seleccionado(s).

h) Registrar las fluctuaciones del nivel estático del acuífero en forma continua durante un mes previo al inicio de las experiencias de recarga artificial.

i) Realizar las experiencias en PPRAA.

j) Determinar las tasas de infiltración en PPRAA.

k) Evaluar el impacto proyectado a los niveles estáticos del acuífero en estudio.

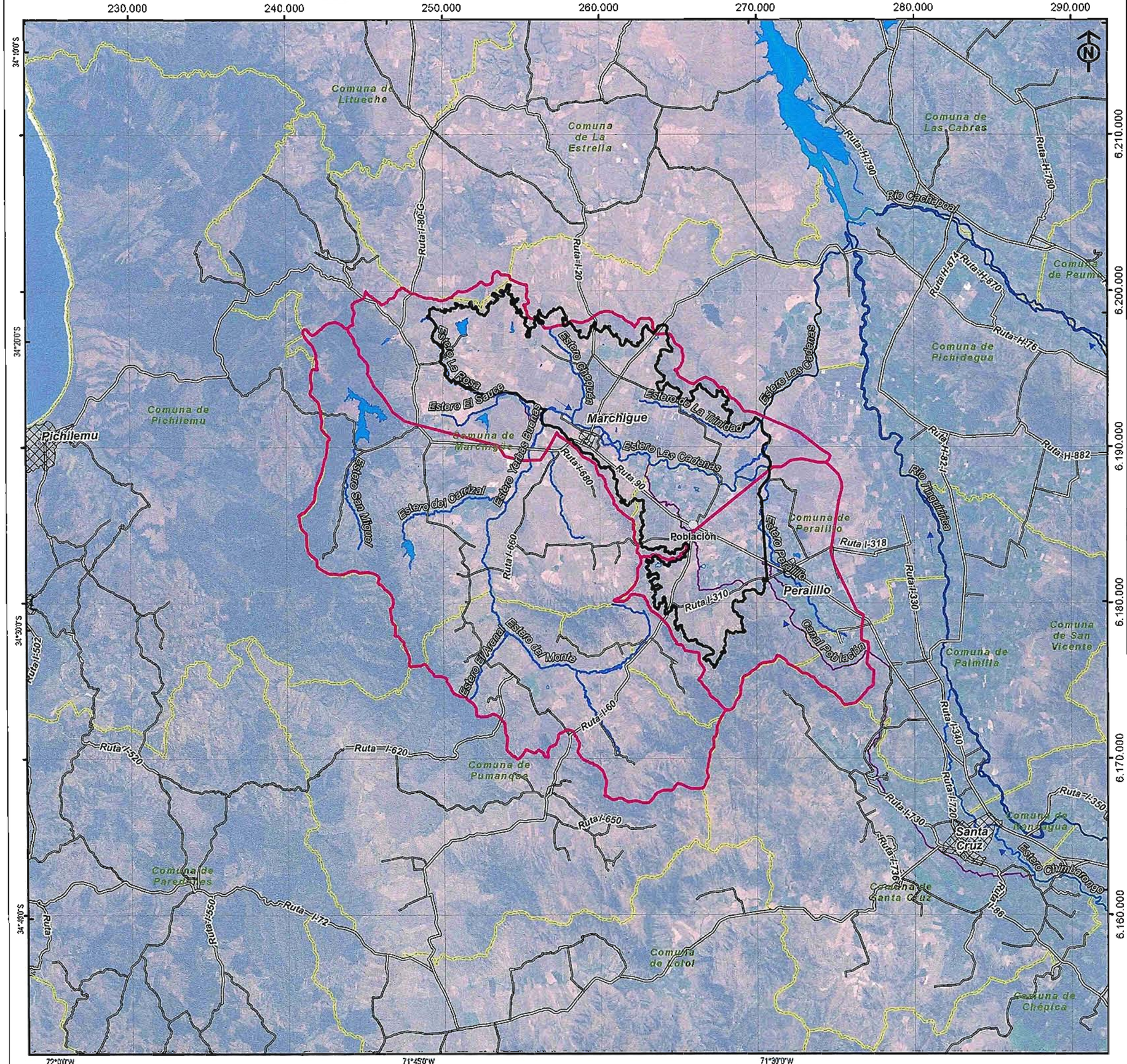
l) Conclusiones y recomendaciones para un eventual proyecto de recarga artificial de acuíferos en la zona, a mayor escala.

1.3 Localización Geográfica

El área de estudio se ubica en las comunas de Marchigüe (provincia de Cardenal Caro) y Peralillo (provincia de Colchagua), en la Región de O´Higgins. Corresponde al acuífero Marchigüe – Las Cadenas, definido por la DGA.

La zona en estudio se emplaza en el Valle del Río Tinguiririca, y el acuífero corresponde al relleno asociado al estero Las Cadenas entre los esteros La Rosa y Peralillo, más el relleno asociado al estero Trinidad.

En Lámina 1.1 se presenta la zona en estudio y las cuencas hidrográficas que la incluyen.



SIMBOLOGÍA BASE

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

Caminos
- Pavimentado
- Sin pavimentar

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

Hidrografía

Drenaje
- Río
- Estero
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

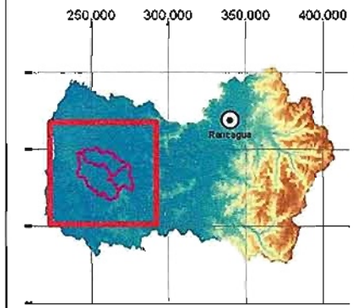
Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Hidrografía

Divisoria
- Límite SS Cca.

- Sentido del escurrimiento

VISTA GENERAL REGIONAL



Elevación (m)
- Máx. : 5140
- Mín. : 0

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Sector de estudio

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina1.1_Sector de Estudio.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
1.1 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

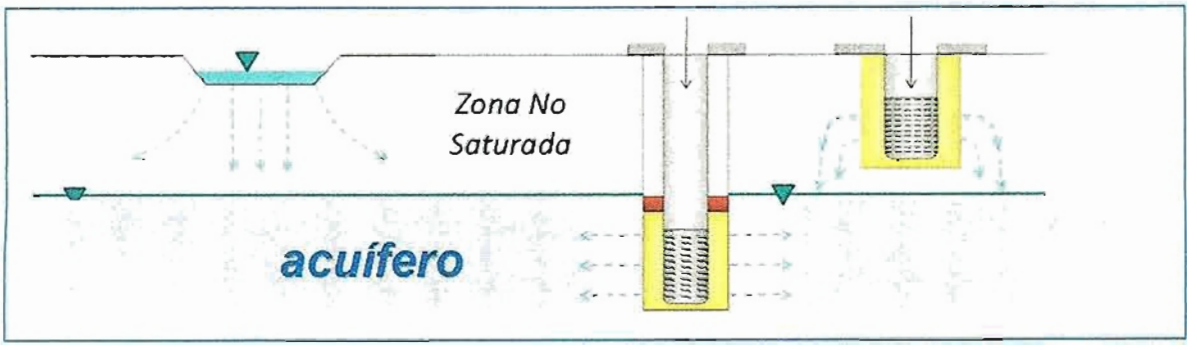
0 5.000 10.000 m ESCALA 1:250.000

1.4 Recarga Artificial de Acuíferos

1.4.1 Métodos de Recarga Artificial

Los métodos de recarga se dividen principalmente en dos grupos: sistemas en superficie y sistemas en profundidad.

Figura 1.1: Métodos de Recarga Artificial

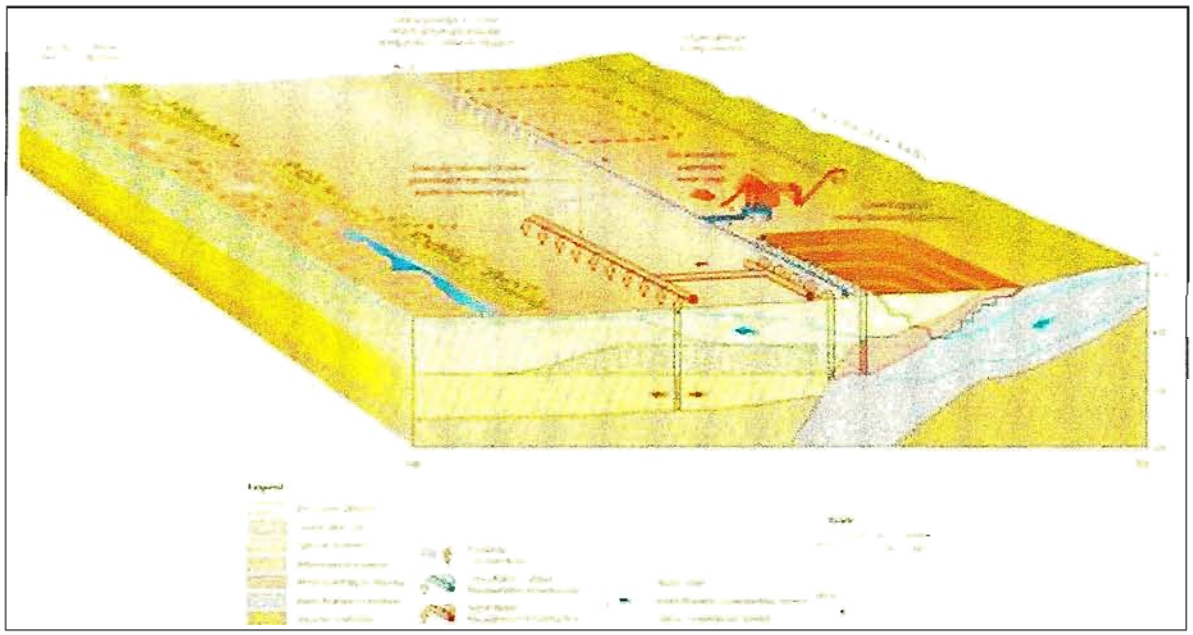


a) Sistemas en superficie: Estos sistemas no están en contacto con la zona saturada del suelo y corresponden principalmente a zanjas o surcos, Piscinas o lagunas de infiltración o acondicionamientos de cauces. Este tipo de sistemas se caracteriza por aprovechar la zona vadosa como zona de tratamiento, para así mejorar la calidad del agua que llega a la zona saturada. De esta forma, estos métodos de recarga permiten infiltrar agua de peor calidad en comparación a los sistemas que lo hacen directamente a la zona saturada. Sin embargo, necesitan que la capa de suelo desde la superficie hasta el nivel freático sea permeable y además de un área de terreno, a un costo razonable, adecuada para todas las instalaciones necesarias para realizar las obras requeridas. Un aspecto importante a considerar, es que en este tipo de sistemas es necesario controlar la colmatación del suelo debida a la presencia de sedimentos en el agua infiltrada y al crecimiento de biomasa (bioclogging), la cual puede provocar un descenso considerable en las tasas de infiltración. Por lo anterior, los sistemas requieren ser secados y limpiados constantemente, para mantener las tasas de recarga a largo plazo. El tiempo necesario para realizar las labores de mantenimiento puede

ir de días a meses, y depende de la calidad del agua que se está utilizando y del tipo de suelo donde se está realizando la obra.

b) Sistemas en profundidad: Los sistemas en profundidad corresponden a técnicas por la cual las aguas son inyectadas o infiltradas directamente al acuífero. Dentro de estos sistemas se encuentran los pozos verticales, drenes y galerías. Las principales ventajas que presentan estos métodos son la posibilidad de utilizarlos en áreas muy pequeñas donde se alcanzan grandes tasas de infiltración, en zonas en donde la superficie es de carácter impermeable y en áreas donde, en profundidad, existe alternancia de estratos permeables. La desventaja es que el agua a infiltrar debe ser de óptima calidad, lo que lleva a invertir en su pretratamiento. Por otra parte, estos sistemas tienden a colmatarse, por lo cual periódicamente deben realizarse labores de limpieza y mantención lo que se traduce en mayores costos de construcción y operación. Adicionalmente, si el sistema no está equipado con una bomba, se debe conseguir una temporal para el desarrollo del pozo. Finalmente, cuando el proceso de colmatación es de gran envergadura, se necesitan procesos especiales de limpieza tales como: la acidificación, el bombeo continuo, etc.

Figura 1.2: Sistemas de Recarga en Profundidad.



1.4.2 Experiencias Internacionales

La recarga artificial es utilizada en el mundo con el propósito de administrar los recursos hídricos subterráneos y superficiales de una manera sustentable, segura y eficiente. Se emplea en zonas áridas y húmedas, sirviendo para diferentes objetivos en cada una de ellas. La distribución porcentual del volumen de agua recargado artificialmente, sin distinguir el destino final de su utilización, se estructura según la siguiente asignación: Estados Unidos de América (85%); Unión Europea (13%); otros países del mundo (2%) (Murillo y coautores, 2000). También cabe mencionar que en Estados Unidos se tienen registros de las primeras experiencias de recarga artificial cerca de 1896, mientras que en Suecia ocurre en 1897, para luego extenderse la práctica por el resto de Europa. En zonas áridas la recarga artificial permite utilizar acuíferos como embalses subterráneos, almacenando agua proveniente de las escasas precipitaciones, excesos de riego y aguas servidas previamente tratadas. En zonas húmedas se utiliza para enfrentar problemas como la sobreexplotación de acuíferos, la intrusión salina, o simplemente aprovechar la capacidad reguladora de los

acuíferos para ejercer una regulación entre temporadas de bajo y alto consumo. Ejemplos de recarga artificial en el mundo incluyen:

- La recarga sin supervisión del agua sobrante del riego en el delta oriental del río Nilo en Egipto durante la expansión agrícola en dicha área tuvo el efecto de elevar los niveles del acuífero. Actualmente se estudia ejecutar una recarga controlada en una nueva área de expansión (Attia & Moustafa, 1998).

- Infiltración de aguas servidas y su posterior recuperación en zonas de Kuwait (Viswanathan & Al-Senafy, 1998), Australia del Sur (Bosher & Simms, 1998).

- El Proyecto de Almacenamiento Subterráneo del Arrecife de Granito (GRUSP por sus siglas en inglés), que consiste en un sistema de cuatro lagunas de infiltración que recibe el agua no utilizada de la importada por los condados del área de Phoenix desde el río Colorado a través de un acueducto de 550 km de longitud, obra que forma parte del Central Arizona Project (Lluria, 1998).

- Infiltración de agua cruda proveniente de cuerpos superficiales y su posterior aprovechamiento como agua potable en ciudades como: París (Haeffner, Detay & Bersillon, 1998), Amsterdam (Horst, 1998) y Viena (Dreher & Gunatilaka, 1998).

- Diversos estudios de factibilidad y experiencias piloto en numerosos lugares del mundo, tales como la provincia de Alicante, España (Murillo y coautores, 2000), Barcelona (Pérez-Paricio & Carrera), Municipio de Morroa, Colombia (CARSUCRE, 2009).

Entre los problemas que enfrenta la recarga artificial, los principales son la colmatación de las obras de infiltración debido a arrastre de sedimentos y la

posible contaminación del acuífero debido a una menor calidad del agua superficial infiltrada, con respecto al agua subterránea que la recibe.

La colmatación ha sido estudiada extensivamente pero hasta el momento no se ha encontrado una solución que se aplique a todos los sitios en que se emplea la recarga artificial, ya que depende de factores tan variables como: la altura piezométrica de la laguna de infiltración (Bouwer & Rice, 1989), la calidad del agua afluente al sitio de recarga (Pavelic y coautores, 1998) y la presencia de ciertos tipos de bacterias (Albrechtsen & coautores, 1998).

Con respecto a las bacterias y su efecto sobre la colmatación, cabe mencionar que en el caso de la zona de Phoenix, Arizona, mencionado anteriormente, se observa que en el verano crece un tipo de alga filamentosa que aparentemente retiene el material suspendido impidiendo que éste llegue al fondo, lo que ha permitido que el sistema de lagunas funcione sin la necesidad de ser limpiado.

Por otro lado, instituciones como la Organización Mundial de la Salud han expresado preocupación por posibles efectos negativos a la salud de la población que puedan originarse en la recarga de acuíferos, específicamente en los casos que involucran aguas servidas. Entre los comentarios emitidos por dicho organismo se encuentran recomendaciones sobre priorizar la investigación acerca de los riesgos microbiológicos, tiempos de residencia, atenuación de riesgos por acción del suelo y/o del acuífero, distancias de extracción y alternativas de desinfección (WHO, 2003).

A modo de ejemplo, en esta sección se resumen dos casos internacionales de recarga artificial de acuíferos. El primero da cuenta de cómo la recarga artificial de acuíferos es utilizada para la creación de una reserva de agua potable de emergencia en Kuwait. El segundo, trata de un sistema de pozos profundos que reemplazó a un sistema de recarga superficial en Holanda.

a) Creación de una reserva de agua potable en Kuwait a través de recarga artificial (Mukhopadhyay et al., 1998). Kuwait es un país árido que depende casi

exclusivamente de las plantas desalinizadoras para sus requerimientos de agua dulce. En este país es necesario contar con una gran capacidad de almacenamiento de agua para cuando estas plantas deben estar fuera de servicio o bien para periodos de emergencia prolongados, derivados de desastres naturales, accidentes industriales, guerras, atentados terroristas, etc. La posibilidad de realizar el almacenamiento en el acuífero resultó ser la opción más barata, puesto que el almacenamiento superficial es muy costoso y requiere gran cantidad de espacio. Bajo condiciones de emergencia el consumo de agua dulce por persona, para beber y cocinar, puede ser reducido a 30 l/día. Considerando una población de 1,5 millones de personas, el requerimiento de agua mínimo por día sería de 45.000 (m^3/día). De esta forma, si la emergencia se prolonga durante un año, el volumen necesario de almacenamiento es de 16,4 (Mm^3). Con una capacidad de inyección de 1.300 (m^3/día) y la necesidad del mismo caudal para recuperación, se deben construir un mínimo de 35 pozos para poder inyectar y producir un total de 45 millones de litros al día. Luego de varios intentos, se concluyó que la configuración óptima era un campo de forma hexagonal con 37 pozos y una distancia promedio entre ellos de 1.500 (m), para lo que se necesitaría un total de 5 años para inyectar un volumen total de 82.000 millones de litros.

b) Sistema de pozos de recarga artificial de Berkheide (Kortleve, 1998). Este sistema está ubicado en Holanda, contiguo al mar del Norte, y ha sido usado para la extracción de agua desde 1887. El suelo posee cuatro estratos, el primero está entre los 0 y 10 metros sobre el nivel del mar; el segundo, se ubica a nivel del mar consistente en una capa de arcilla confinante de un espesor de 5 (m); bajo esta existe un estrato intermedio que va desde los 5 a los 20 (m) de profundidad, el cual posee una conductividad hidráulica de 10 (m/d). La última capa parte a una profundidad de 20 (m) con una conductividad de 30 (m/d) y en ella existe el contacto entre el agua dulce proveniente de la recarga y el agua salada que viene desde el mar del Norte. La recarga y la recuperación de agua se realizó en el estrato más profundo, para evitar impactos ecológicos y fluctuaciones de los

niveles estáticos en el estrato superior. Antes de la implementación de los pozos profundos, se realizó la recarga del acuífero mediante un sistema superficial, lo cual provocó una degradación del ecosistema existente. La operación del sistema profundo comenzó el año 1997, y su capacidad de recuperación de agua fue de 4,3 millones de metros cúbicos por año, con un máximo de excesos en recarga de un 10%. Este exceso de recarga es necesario para prevenir el ingreso de la cuña salina y no debe ser mayor a este valor porque crearía un impacto sobre el medio ambiente y la agricultura. Para el monitoreo del sistema, se creó una extensa red consistente en pozos de observación con cribas cada 1 (m). Además, cada pozo cuenta con un geocable capaz de medir la resistencia eléctrica del suelo y el agua a distintas profundidades, permitiendo con esas mediciones calcular la ubicación de la interfaz entre agua dulce y salada. En la etapa inicial de operación el sistema funcionó a un 60% de su capacidad debido a que el pretratamiento de las aguas no fue el adecuado, además de que los bombeos de cada uno de los pozos se debieron realizar de forma manual. Algunos de los pozos bombearon la mayor parte del tiempo y otros estuvieron prácticamente en desuso. La configuración de un sistema de bombeo automático es un tema a desarrollar a futuro para lograr optimizar el proyecto.

En resumen, la experiencia internacional demuestra ser variada y, en algunos casos, de larga data, por lo que al menos se sabe que existen las condiciones para buscar conocimientos que se puedan aplicar localmente.

1.4.3 Experiencias Nacionales

a) Plan Piloto de Recarga Artificial en el Acuífero de La Ligua-Petorca (Aqualogy, CNR, 2012-2013)

La CNR, a partir de un diagnóstico nacional, reconoció la necesidad de innovar para aprovechar nuestros recursos, a través de la creación de un Plan de Infiltración de Napas Subterráneas, complementario al Plan Nacional de Embalses.

Fruto de esta política, la CNR está realizando iniciativas pioneras en Chile, y recientemente ha inaugurado la primera experiencia Piloto de Recarga Artificial en el Acuífero de La Ligua-Petorca, con una capacidad de infiltración de 9.000 (m^3/día).

El objetivo de este estudio es recargar artificialmente los acuíferos mediante sistema de infiltración de napas subterráneas mediante piscinas de infiltración. Patrocinado por el Ministerio de Agricultura a través de la CNR, se encuentra en ejecución en el sector de Paihuén, en la comuna de Cabildo. El proyecto cuenta con tres piscinas de infiltración, las que captan las aguas lluvias o que se acumula en los tranques cercanos en invierno, las que no son utilizadas por los agricultores, para posteriormente hacer la recarga. Posee una capacidad de infiltración de 9.000 (m^3/día).

b) Estudio e Implementación de un Plan Piloto De Recargas Artificiales a Los Acuíferos del Valle del Aconcagua (GeoHidrología, DOH, 2012-2013).

El objetivo principal de este estudio, actualmente en desarrollo, es diseñar, implementar, evaluar y monitorear un plan piloto de recargas artificiales a los acuíferos del valle del Aconcagua, en el contexto de un proyecto de riego. Las pruebas serán efectuadas en la primera y tercera secciones del valle del Aconcagua.

c) Proyecto Acuífero de Santiago, Sociedad del Canal de Maipo (GeoHidrología, 2012-2013)

El objetivo de este estudio es desarrollar un proyecto piloto de recarga artificial, el cual actualmente se encuentra en ejecución. Considera la utilización de las aguas de la red de la SCM empleando dos sistemas de recarga (balsas y pozos de infiltración) y una planta de tratamiento de aguas. Está diseñado para recargar hasta 70 (l/s).

d) Otras iniciativas

Anteriormente, en el valle de Azapa se pretendió desarrollar un proyecto de recarga artificial del acuífero con recursos provenientes de los efluentes líquidos de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Arica.

Por otro lado, Aguas Antofagasta S.A. desarrolla un proyecto que se encuentra en una etapa incipiente, que pretende utilizar un sistema equivalente para deshacerse de las aguas provenientes del descarte de la planta de filtros del salar del Carmen.

Pilotos de Recarga Artificial Existentes

Gracias a una gestión de la CNR fue posible realizar una visita a dos de los PPRAA existentes en Chile, conocer de primera fuente las dificultades en su implementación y las experiencias de operación.

Los pilotos visitados fueron Curimón (acuífero Aconcagua) y Bartolillo (acuífero La Ligua – Petorca).

1.4.3.1 PPRAA Curimón

Proyecto desarrollado por la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, se encuentra ubicado en la ribera sur del río Aconcagua, a 1.000 (m) al noreste del pueblo de Curimón, tal como se muestra en la Figura 1.3.

Figura 1.3: Proyecto Desarrollado por la DOH del MOP, al Noreste del Pueblo de Curimón.

El piloto de recarga artificial de Curimón consta de dos lagunas de 2.500 (m^2) de área cada una, conectadas en serie. Las aguas pueden ser captadas desde tres fuentes alternativas: el río Aconcagua, el canal Curimón (alimentado por una batería de sondajes existentes al Este del piloto), con un caudal de 2,5 (m^3/s); y un segundo canal de regadío que existe en el sector.

Previo a su ingreso a estas lagunas, las aguas deben pasar por un decantador de 5.000 (m^2) de área. Se han perforado 4 pozos de observación para monitorear los efectos de los ensayos de infiltración en el nivel freático en la zona, que en forma natural oscila entre los 50 (m) y 60 (m) de profundidad, mientras que la roca fundamental se encuentra a unos 70 (m) de profundidad. Asimismo, se han instalado transductores de presión para colectar información relevante para la operación, aunque sin la opción de transmisión remota de esos datos.

Figura 1.4: Obra de Toma desde Canal Curimón.

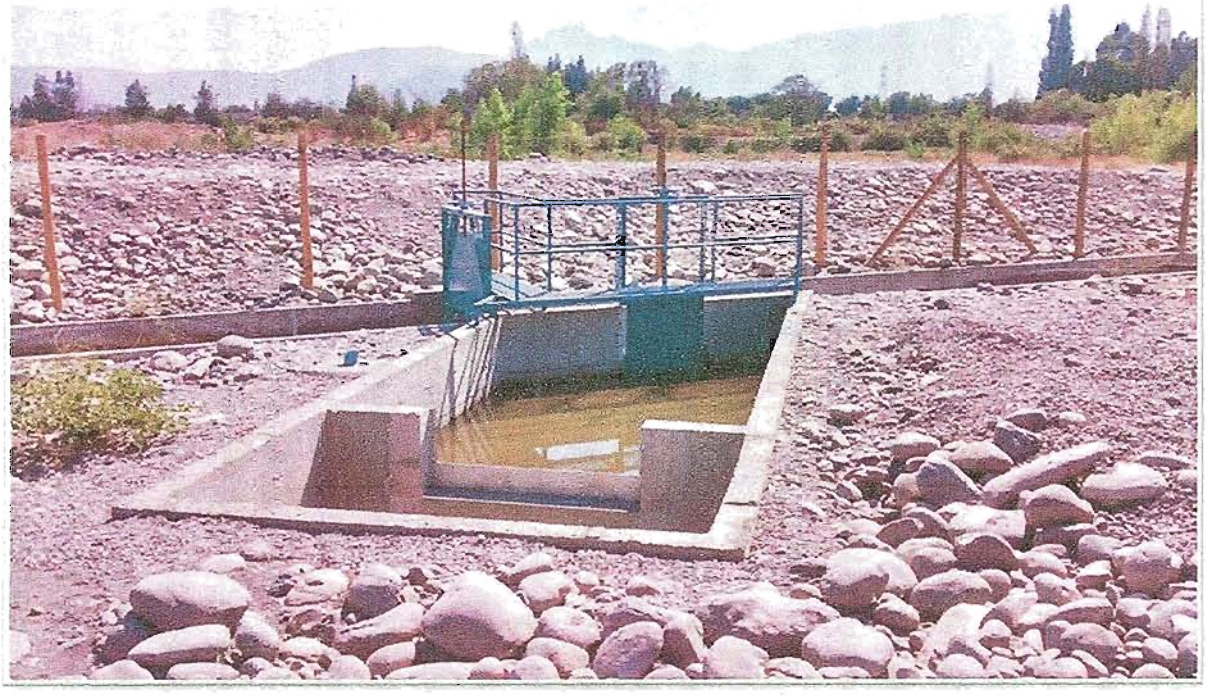


Figura 1.5: Obra de toma desde Canal de Regadío, Sector Sur.

Figura 1.6: Laguna Decantadora.

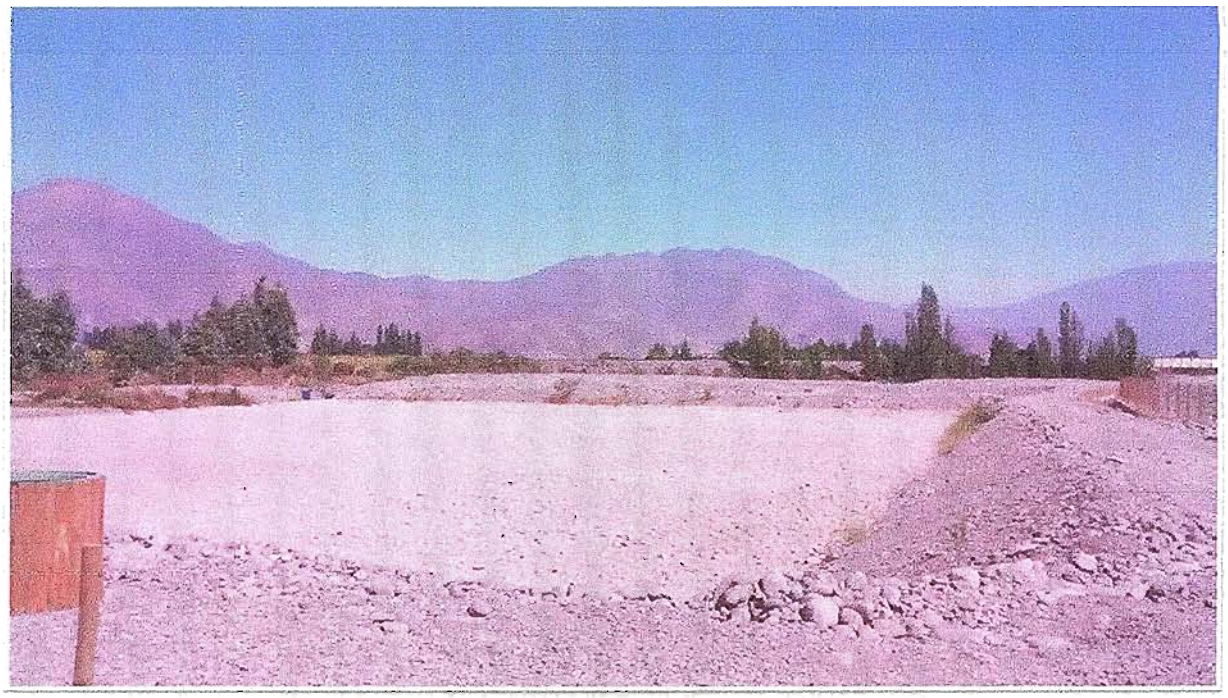


Figura 1.7 Obra de Traspaso entre Piscina Decantadora y Primera Laguna de Infiltración.

Figura 1.8: Primera Laguna de Infiltración.

Las protecciones ribereñas de este piloto han sido diseñadas para resistir una crecida del río Aconcagua asociada a un período de retorno de 10 años. Las lagunas consideran, por proyecto, una caudal de diseño de infiltración de 500 (l/s), con una carga hidráulica de entre 0,50 (m) y 1,00 (m); sin embargo, su caudal mínimo de operación es de 200 (l/s). Asimismo, el proyecto considera realizar limpieza del fondo de las lagunas de infiltración cuando la tasa de infiltración descienda a un 70% de su capacidad inicial, se estima que esta condición se produzca cada 2 a 3 meses de operación continuada.

La principal dificultad para la operación de este piloto ha sido la insuficiente disponibilidad de agua para realizar las pruebas, debido a la larga sequía que afecta el centro de Chile. El requerimiento es de 5.000 (m^3) de agua durante 6 meses.

Una segunda dificultad ha sido el vandalismo. En efecto, producto de una emergencia en la operación del canal de regadío, se requirió desviar parte de las

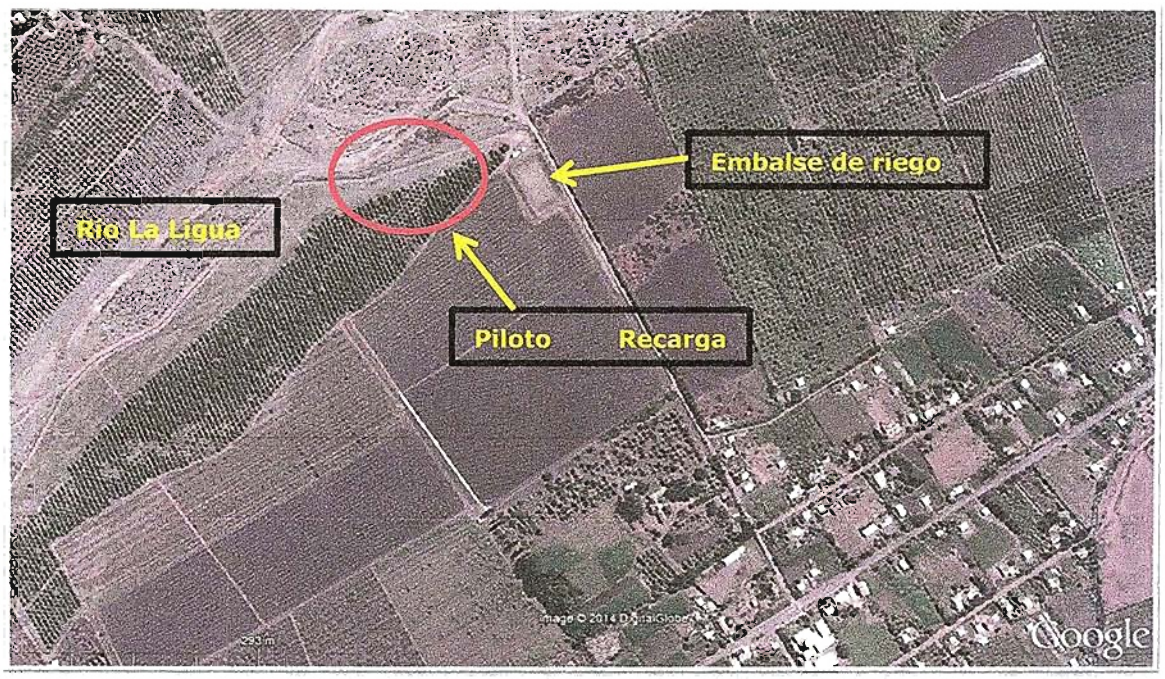
aguas hacia el decantador. Esta acumulación, registrada durante 3 días en noviembre de 2013, llamó la atención de pobladores del sector, que emplearon el decantador como piscina, causando destrozos en algunas instalaciones.

1.4.3.2 PPRAA Bartolillo

Proyecto desarrollado por la Comisión Nacional de Riego, se encuentra ubicado en la ribera sur del río La Ligua, a unos 600 (m) al noroeste de la localidad de Bartolillo, tal como se muestra en la Figura 1.9.

La CNR desarrolló durante el año 2013 un proyecto piloto de recarga artificial en el llamado acuífero La Ligua – Petorca. Después de preseleccionar cinco opciones de ubicación, se definió un sexto sitio, en el cual se construyeron las lagunas de infiltración. Se observa en la Figura 1.10, en las inmediaciones de las lagunas de infiltración, inmediatamente al este de esa zona, un tranque de riego existente, el cual formó parte del sistema de ensayos de infiltración, aunque no estaba previamente considerado como tal.

Figura 1.9: Proyecto Desarrollado por CNR, en Ribera Sur del Río La Ligua.



En efecto, debido a la variabilidad de caudales disponibles, se empleó el embalse mencionado como elemento de regulación de caudales de infiltración.

El sistema hidráulico de pruebas de infiltración tiene su inicio en el embalse mencionado, el cual es alimentado por un canal derivado del canal de Alicahue, que tiene un trazado paralelo al camino público que cruza Bartolillo. Desde el canal, a través de medios improvisados, el agua es conducida al embalse mediante una canaleta revestida de material plástico impermeable, el cual también recubre el embalse. En la Figura 1.10 se observa, en el extremo inferior derecho, la llegada de la canaleta alimentadora al tranque. El embalse actúa en este caso también como decantador.

A continuación, para alimentar las lagunas de infiltración se realizó una modificación en la aducción existente aguas abajo del tranque, empleada para el riego de los cultivos aledaños. En efecto, se instaló una T para alimentar una impulsión de PVC de 250 (mm) de diámetro para conducir las aguas a la primera laguna de infiltración. En la Figura 1.11 se observan un flujómetro y una válvula de corte instalados en la conducción.

Figura 1.10: Embalse de Regulación del Sistema de Infiltración.

A continuación se ubican en serie tres lagunas de infiltración, de tal modo que la anterior alimenta la siguiente mediante una tubería de PVC de 250 (mm). La última laguna posee un sistema de desagüe para conducir eventualmente los excesos al lecho del río La Ligua.

El conjunto de las tres lagunas de infiltración tiene un área de 750 (m^2) y un volumen útil de 1.400 (m^3).

Se consideraron 4 pozos previamente existentes para el control de niveles freáticos, en 2 de ellos se instalaron sensores de nivel con *data-logger.*

Figura 1.11: Aducción entre el Embalse y la Primera Laguna de Infiltración.

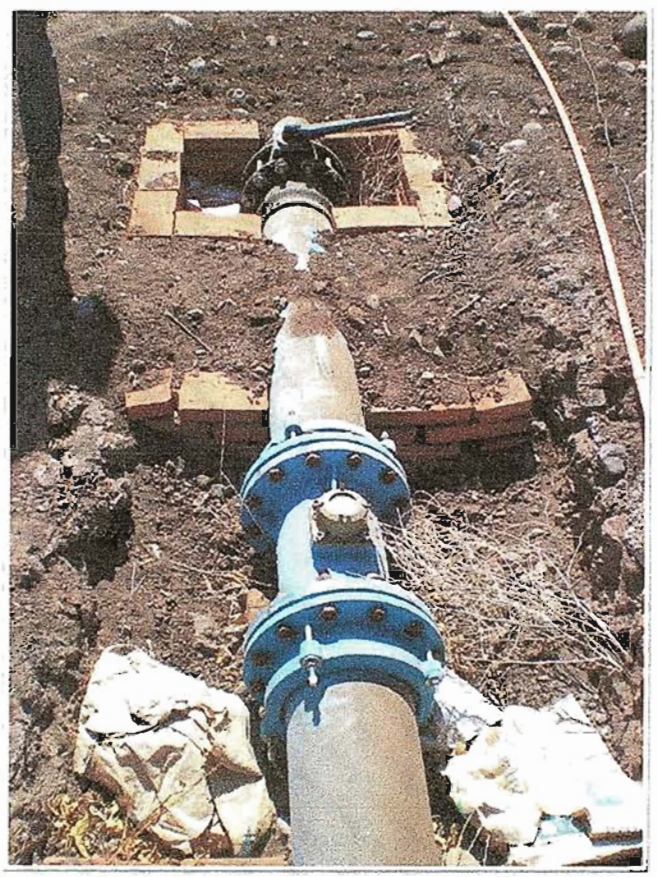


Figura 1.12: Laguna de Infiltración N°1.

Figura 1.13: Lagunas de Infiltración N°2 y N°3.

El estudio de recarga artificial en Bartolillo finalizó en noviembre de 2013. La principal dificultad para la realización de ensayos de infiltración consistió en la irregular y escasa disponibilidad de agua. Durante el invierno de 2013 se realizaron 5 pruebas, cada una de escasa duración. Los resultados de esas pruebas indicaron una tasa media de infiltración de 6,2 (m/día), dentro de un amplio rango de valores (tasa máxima: 14,1 (m/día); tasa mínima: 1,2 (m/día).

2 CARACTERIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Descripción General

En la VI Región existe un gran sistema hidrográfico principal, que corresponde a la cuenca del río Rapel, con sus afluentes Cachapoal y Tinguiririca, además de una zona costera que está formada por las hoyas de los esteros Tocopalma y Nilahue.

Se debe señalar la existencia de sectores inmediatamente adyacentes a la costa, comprendidos entre el litoral y las divisorias de agua de las cuencas de los esteros antes mencionados y el río Rapel, en los cuales la red de drenaje constituye esteros y quebradas de muy corto desarrollo, que alcanzan el mar en forma individual y que, en estricto rigor, cada uno de ellos conforma una pequeña cuenca. En estas pequeñas cuencas el régimen de escorrentía que caracteriza a estos esteros y pequeñas quebradas es esencialmente pluvial, por lo que su escurrimiento está estrechamente asociado a la distribución estacional de las lluvias.

A continuación se presenta una caracterización general de las cuencas antes mencionadas.

Cuenca del Río Rapel

La cuenca del Río Rapel, que se extiende de cordillera a mar, se encuentra ubicada aproximadamente entre los 34º y 35º de latitud sur y entre los 70º y 72º de longitud oeste. La zona baja de la cuenca, queda comprendida entre su desembocadura y la desembocadura de los ríos Cachapoal y Tinguiririca en el embalse Rapel.

Los escurrimientos existentes en la zona baja son en su mayor parte afluentes al embalse Rapel y aportados principalmente por los esteros Las Cadenas y Alhué,

los que sumados a los afluentes de la zona intermedia, a través de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, constituyen los afluentes totales al embalse Rapel.

El régimen natural del río Rapel es pluvio-nival alterado, es decir, en el período pluvial (Abril- Septiembre) se tiene régimen pluvial con crecidas violentas debido a precipitaciones líquidas caídas en la precordillera y zona intermedia de la cuenca, y en el período (Octubre-Marzo) se tiene régimen nival con una onda de deshielo estacional generada por el deshielo del manto de nieve y aporte de los glaciares de la alta cordillera, onda de deshielo que llega al embalse Rapel amortiguada, o desapareciendo en algunos casos debido al uso consuntivo del agua con fines de riego en el valle central y algunos valles laterales.

La descripción de la zona intermedia incluye las cuencas de los ríos Cachapoal y Tinguiririca.

Esta zona que está comprendida entre la zona alta y el embalse Rapel, incluye la mayor parte de la zona cultivada y regada en la cuenca del río Rapel.

Cuenca del Río Cachapoal

Si bien el régimen hidrológico de la zona intermedia es netamente pluvial, el de los ríos que nacen en la alta cordillera, como el Cachapoal, es de régimen pluvio-nival, donde el agua proveniente del deshielo se utiliza en riego por lo que la onda estacional de deshielo se amortigua e incluso en algunos años secos, la onda de deshielo no se aprecia a la salida de la zona.

Cuenca del Río Tinguiririca

Al igual que lo señalado en el caso anterior, la zona intermedia tiene un régimen netamente pluvial, sin embargo, el régimen de los ríos que nacen en la alta cordillera, como el Tinguiririca, es de régimen pluvio-nival, donde el agua proveniente del deshielo se utiliza en riego por lo que la onda estacional de deshielo se amortigua e incluso en algunos años secos, la onda de deshielo no se aprecia a la salida de la zona.

Cuencas Costeras: Cuenca del Estero Tocopalma y Estero Nilahue

La hoya del estero Tocopalma o Quebrada Honda es una cuenca costera ubicada inmediatamente al sur de la cuenca del río Rapel. El área de mayor interés de esta cuenca comprende entre el estero El Ganso por el sur y el estero Valle Hidango por el norte. El estero El Ganso es un tributario de la ribera norte del estero Tocopalma, a unos 25 (km). aguas arriba de su desembocadura al mar. El estero Valle Hidango también es un tributario norte a unos pocos kilómetros de su desembocadura al mar. El régimen hidrológico es netamente pluvial.

La hoya del estero Nilahue drena parte de la zona costera entre la localidad de Cahuil por el norte y el estero Paredones por el sur. Posee una red de drenaje muy ramificada de acuerdo con la tectónica local, que ha fraccionado el macizo costero en ese sector. El estero Nilahue que tiene su nacimiento a unos 60 (km). al sur de Pichilemu, tiene una dirección Sur a Norte casi en la totalidad de su recorrido y desemboca en la localidad de Cahuil, ubicada unos 10 (km). al Sur de Pichilemu. El régimen hidrológico es netamente pluvial.

2.1.1 Caracterización Cuenca Marchigüe-Las Cadenas

La Cuenca Hidrográfica asociada al acuífero de "Marchigüe" corresponde a la cuenca del Estero Las Cadenas, y que pertenece a la Cuenca del Tinguiririca.

En esta área se desarrollan 3 cuencas denominadas:

- Cuenca Estero Las Cadenas
- Cuenca Estero Peralillo
- Cuenca Estero Yerbas Buenas

Dichas cuencas se presentan en la Lámina 2.1, y el límite se representa por la línea color magenta. Adicionalmente se representa el límite del acuífero de "Marchigüe" por la línea gruesa de color negro.

Respecto a la cuenca del Estero Las Cadenas se tiene que dicha cuenca comprende una extensión de 23.272 (ha) aproximadamente, con cotas en su parte más alta de 457 (m.s.n.m.) y en su parte más baja de 127 (m.s.n.m.). El estero Las Cadenas nace a la altura de Marchigüe al confluir los esteros Chequén, La Rosa, Yerbas Buenas y Grande de Piuchén, los que nacen en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa. Se tiene el Embalse Mallermo en esta cuenca. (Ver Lámina 2.3)

El estero Las Cadenas escurre hacia el Este, descargando en el embalse Rapel en el sector de San José de Marchigüe, 28 (km) aguas abajo del pueblo de Marchigüe. En este tramo recibe el aporte del estero de Trinidad, que nace en el sector del estudio.

La localidad de Marchigüe se encuentra ubicada en el valle del estero Las Cadenas, cuya pendiente media en el sector es de 0,5%. Los principales cordones montañosos rodean el sector por el Norte (Cerros de Trinidad), Oeste y Sur y se encuentran a unos 10 Km en torno de Marchigüe. Las principales alturas del sector son los cerros Los Maitenes (455 (m.s.n.m.)) y San Rafael (282 (m.s.n.m.)).

Respecto de la cuenca del Estero Peralillo se tiene que dicha cuenca comprende una extensión de 14.359 (ha) aproximadamente, con cotas en su parte más alta de 898 (m.s.n.m.) y en su parte más baja de 127 (m.s.n.m.).

La Red de drenaje superficial de la cuenca tiene como único cauce de importancia es el estero del mismo nombre. En esta cuenca se tiene la Laguna Natural de Camarones. (Ver Lámina 2.4)

Se tiene el Estero Chimbarongo que si bien está fuera de la cuenca, es un curso de agua muy relevante para el estudio, dado que será la fuente de agua para la experiencia piloto de recarga artificial del acuífero.

Existen variados canales de riego que se conectan a los ríos de importancia, entre ellos el de más importancia para el estudio es el Canal Población, que extrae recursos hídricos del Estero Chimbarongo en Santa Cruz. En este punto se dispone de data de caudales del estero Chimbarongo, dado que existen datos de caudales de una estación DGA, que no está actualmente vigente pero que dispone de más de 30 años de estadística de caudales, lo cual es suficiente para caracterizar los recursos hídricos de este cauce.

En cuanto a la cuenca del Estero Yerbas Buenas se tiene que dicha cuenca comprende una extensión de 39.346 (ha) aproximadamente, con cotas en su parte más alta de 898 (m.s.n.m.) y en su parte más baja de 144 (m.s.n.m.).

La Red de drenaje superficial de la cuenca tiene los esteros Colhue, El Arenal, del Monte, del Carrizal, Grande de Pichuquén y el Estero Yerbas Buenas. Se tiene el Embalse Alcones en esta cuenca. (Ver Lámina 2.5)

Este sector asociado a la Cuenca "Marchigüe" dispone de una data fluviométrica y pluviométrica que se presenta en la Lámina 2.2, consistente en 11 estaciones (Tabla 2.2).

2.1.1.1 CLIMA Y VEGETACIÓN

La zona del estudio presenta un clima templado-cálido con lluvias invernales y estación seca prolongada, uno de los climas templados-cálidos con lluvia suficiente, según el sistema de clasificación de Koeppen, donde el calificativo suficiente se refiere al período anual en forma global y no excluye la posibilidad de algún período seco o con deficiencia de humedad dentro de él.

La estación seca se registra en los meses de verano debido a la interacción entre el anticiclón subtropical y el régimen de los vientos del Oeste; en el sector del estudio se prolonga de 7 a 8 meses, desarrollándose el clima mediterráneo con todas sus características: precipitación concentrada en los meses de invierno y una estación muy seca producida por un dominio anticiclónico ininterrumpido. La

precipitación se genera ante la acción de sistemas frontales; los vientos dominantes son del Suroeste y se caracterizan por una alta frecuencia de calmas.

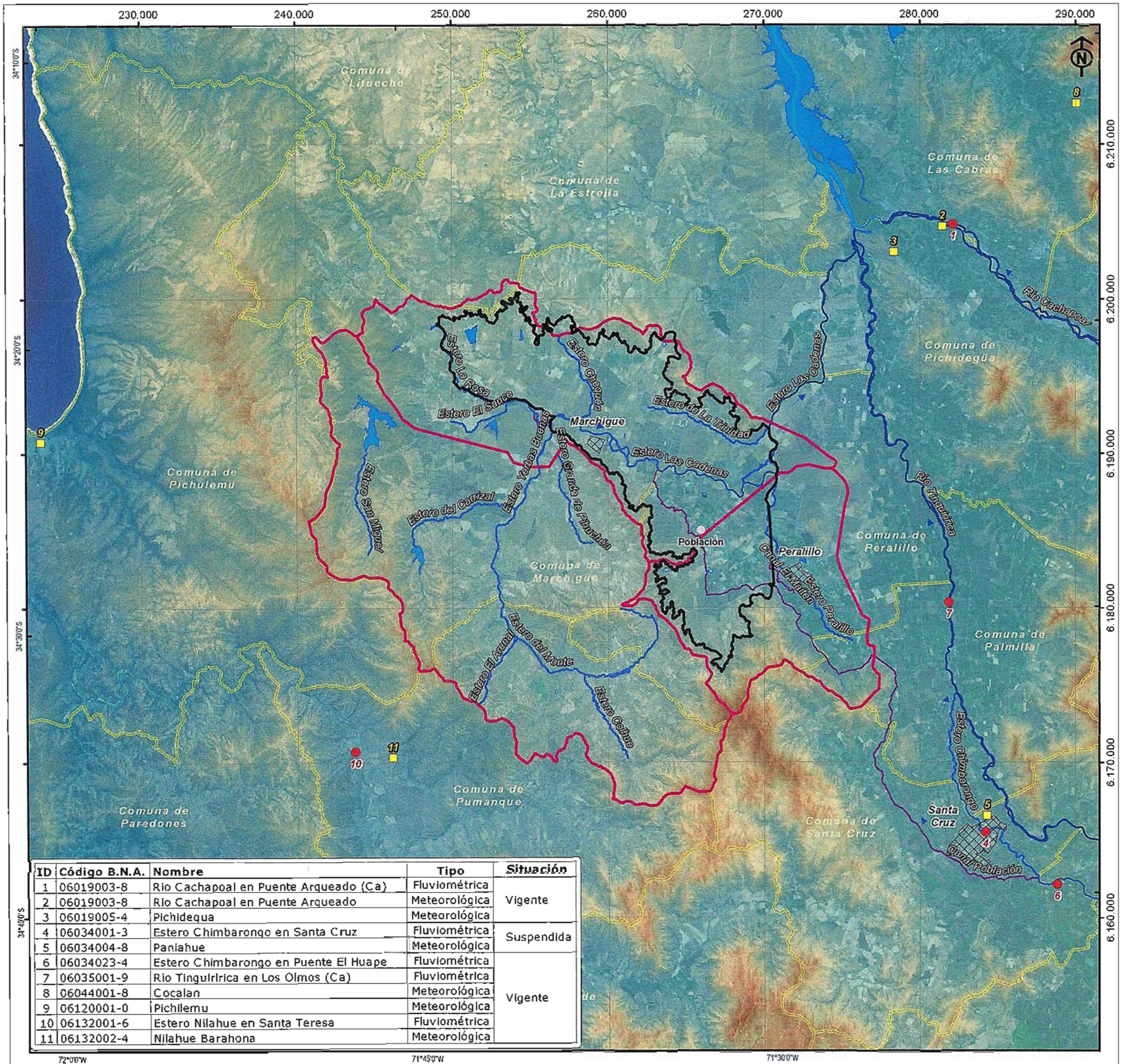
En la Tabla 2.1 se pueden apreciar los valores medios mensuales de varios parámetros climáticos correspondientes al área de estudio.

Tabla 2.1: Caracterización Climática (Fuente: Registro DGA)

VARIABLE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VALOR ANUAL
Temp. media (°C)	19,7	18,6	16,7	13,7	11,5	9,2	8,7	9,6	11,0	13,0	15,9	18,2	13,8
Temp. máxima media (°C)	27,6	25,9	23,4	19,8	14,7	11,8	10,9	13,2	15,5	19,3	21,5	25,4	19,1
Temp. mínima media (°C)	12,9	12,6	10,3	9,0	8,0	7,2	5,0	5,8	6,2	8,6	10,0	12,2	9,0
Precipitación (mm)	3,4	0,2	8,0	26,1	100	149,5	113,8	72,6	26,3	26,0	7,7	10,2	532,2

Las precipitaciones se obtuvieron en base a la información de la estación pluviométrica Marchigüe, mientras que las temperaturas se estimaron a partir de los datos de las estaciones meteorológicas Rancagua, Convento Viejo, Quelentaro y Curicó.

La vegetación característica de la zona consiste en matorrales, principalmente espinos, y de pastos cortos de temporada. En Trinidad y Los Maitenes existen terrenos agrícolas donde se cultivan viñas, frutales y hortalizas, las que son regadas con aguas extraídas desde pozos profundos, mientras que en los terrenos de secano se cultiva principalmente trigo.



ID	Código B.N.A.	Nombre	Tipo	Situación
1	06019003-8	Rio Cachapoal en Puente Arqueado (Ca)	Fluviométrica	Vigente
2	06019003-8	Rio Cachapoal en Puente Arqueado	Meteorológica	
3	06019005-4	Pichidegua	Meteorológica	
4	06034001-3	Estero Chimbarongo en Santa Cruz	Fluviométrica	Suspendida
5	06034004-8	Paniahue	Meteorológica	
6	06034023-4	Estero Chimbarongo en Puente El Huape	Fluviométrica	Vigente
7	06035001-9	Rio Tinguiririca en Los Olmos (Ca)	Fluviométrica	
8	06044001-8	Cocalan	Meteorológica	
9	06120001-0	Pichilemu	Meteorológica	
10	06132001-6	Estero Nilahue en Santa Teresa	Fluviométrica	
11	06132002-4	Nilahue Barahona	Meteorológica	

SIMBOLOGÍA BASE

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

Asentamientos
- Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

Hidrografía
- Divisoria
- Limite SS Cca.

Elevación (m)
- Máx. : 1790
- Mín. : 0

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

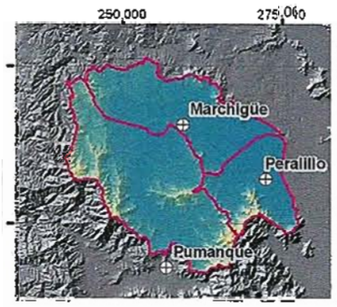
Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Ec. Las Cadenas-Marchigüe
- Sentido del escurrimiento

Drenaje
- Río
- Estero
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna

Estación
- Meteorológica
- Fluviométrica

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 900
- Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR
Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Estaciones de la Red Hidrométrica Nacional (R.H.N.-D.G.A.)

URL: Lámina2.1_Estaciones de la Red Hidrométrica Nacional.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

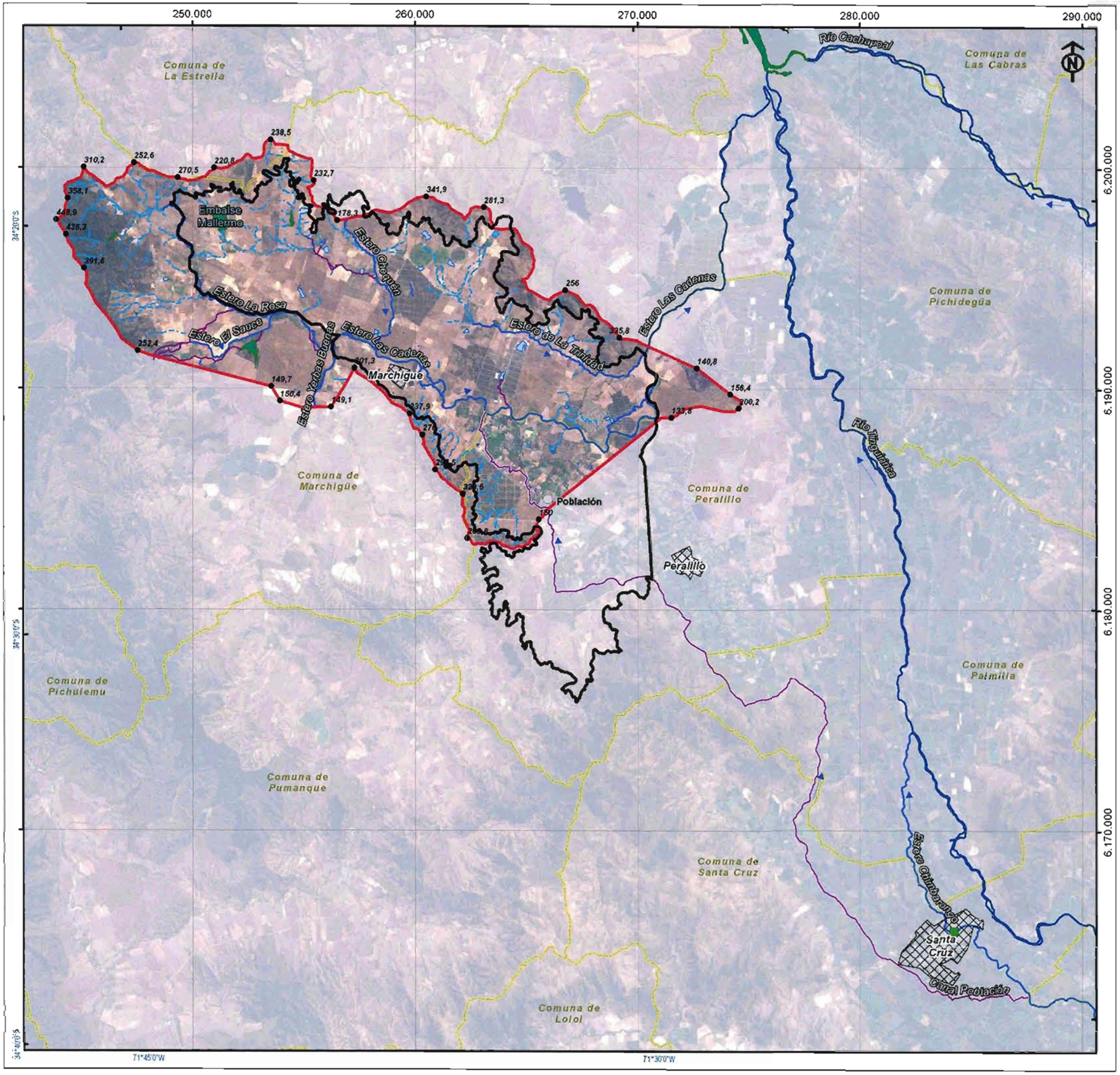
LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
2.1 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:250.000

Tabla 2.2: Estaciones Fluviométricas y Pluviométricas DGA. (Fuente: Registros DGA)

N	NOMBRE	COD_BNA	TIPO	COORD. ESTE	COOR. NORTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	VIGENCIA
1	RÍO CACHAPOAL EN PUENTE ARQUEADO (CA)	06019003-8	Fluviométricas	282145	6204769	115	12 Septiembre 2002 a la fecha
2	ESTERO CHIMBARONGO EN SANTA CRUZ	06034001-3	Fluviométricas	284234	6165468	225	01 Abril 1945 - 01 Diciembre 1980
3	ESTERO CHIMBARONGO EN PUENTE EL HUAPE	06034023-4	Fluviométricas	288845	6162090	184	28 Noviembre 2008 a la fecha
4	RÍO TINGUIRIRICA EN LOS OLMOS (CA)	06035001-9	Fluviométricas	281897	6180333	223	01 Septiembre 2000 a la fecha
5	ESTERO NILAHUE EN SANTA TERESA	06132001-6	Fluviométricas	243705	6170703	50	01 Enero 1985 a la fecha
6	COCALÁN	06044001-8	Meteorológicas	290053	6212579	120	01 Noviembre 1978 a la fecha
7	RÍO CACHAPOA EN PTE. ARQUEADO	06019003-8	Meteorológicas	281454	6204645	115	01 Octubre 2002 a la fecha
8	PICHIDEGUA	06019005-4	Meteorológicas	278344	6203001	110	01 Enero 1974 a la fecha
9	PANIAHUE	06034004-8	Meteorológicas	284334	6166548	170	01 Enero 1979 - Septiembre de 1988
10	NILAHUE BARAHONA	06132002-4	Meteorológicas	246119	6170326	90	01 Enero 1969 a la fecha
11	PICHILEMU	06120001-0	Meteorológicas	223546	6190747	5	01 Julio 1980 a la fecha



SIMBOLOGÍA BASE

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal

- Poblado
- Área urbana

Hidrografía

Divisoria
- Cota
- Límite SS Cca.

Otros elementos
- Estación Fluviométrica (Estero Chimbarongo en Santa Cruz)

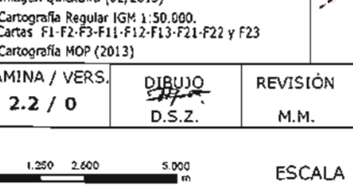
SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe
- Sentido del escurrimiento

Drenaje
- Río
- Estero
- Quebrada Permanente
- Quebrada Intermitente
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 458
- Min. : 127

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR
Gobierno de Chile

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Red Hídrica superficial de la Cuenca del Estero Las Cadenas

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina2.2_Red Hidrica superficial de la Cuenca del Estero Las Cadenas.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

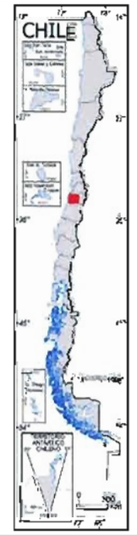
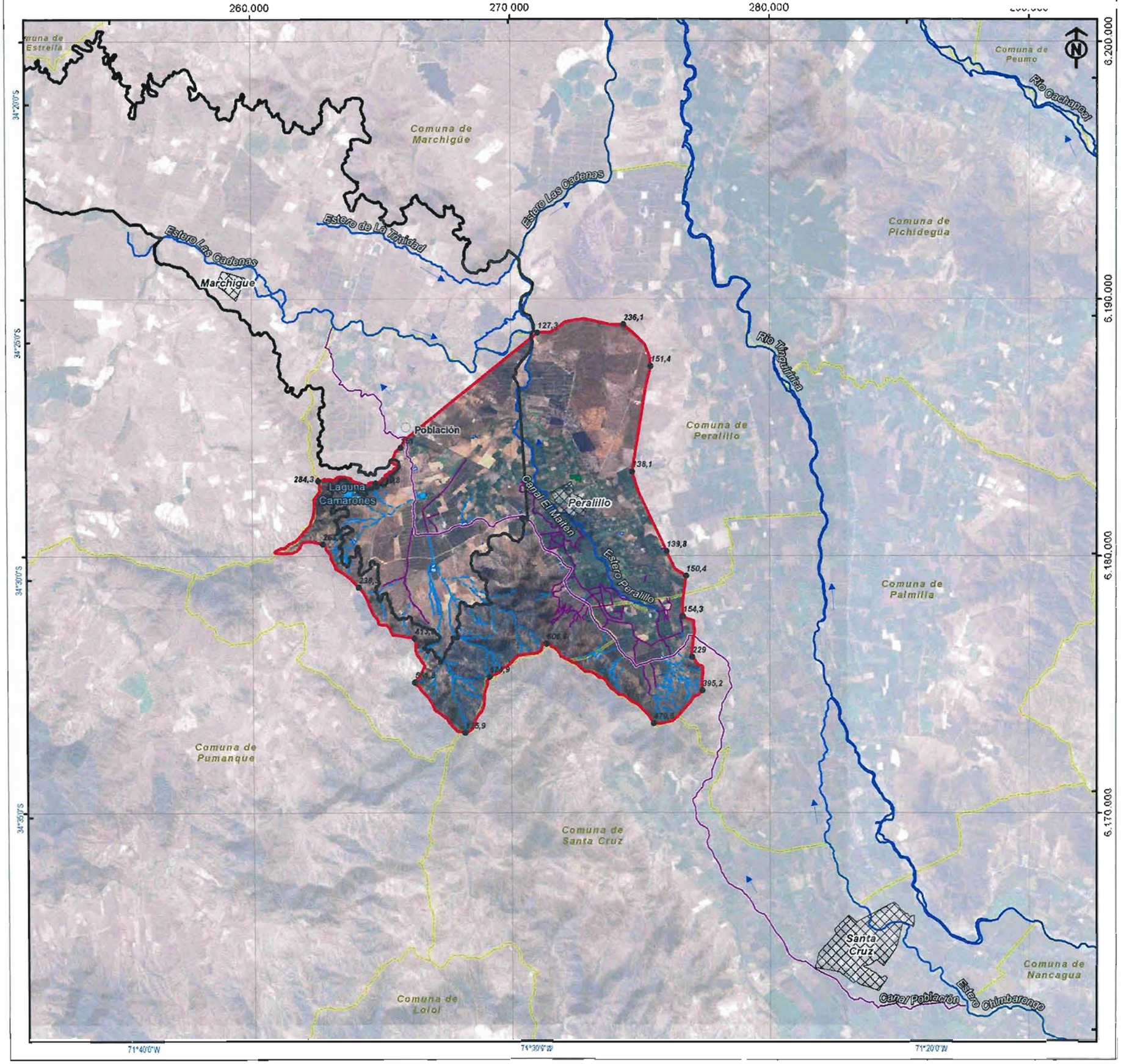


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
2.2 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 5.000 m

ESCALA 1:175.000



SIMBOLOGÍA BASE

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal

Poblado

Área urbana

Hidrografía

Divisoria
- Cota
- Límite SS Cca.

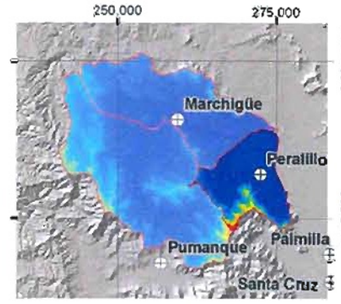
SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe
- Sentido del escurrimiento

Drenaje
- Río
- Estero
- Quebrada Permanente
- Quebrada Intermitente
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
Máx. : 898
Mín. : 127

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR
Gobierno de Chile

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Red Hidrica superficial de la Cuenca del Estero Peralillo

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina2.3_Red Hidrica superficial de la Cuenca del Estero Peralillo.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

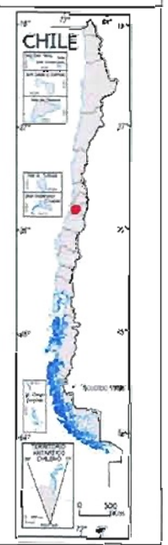
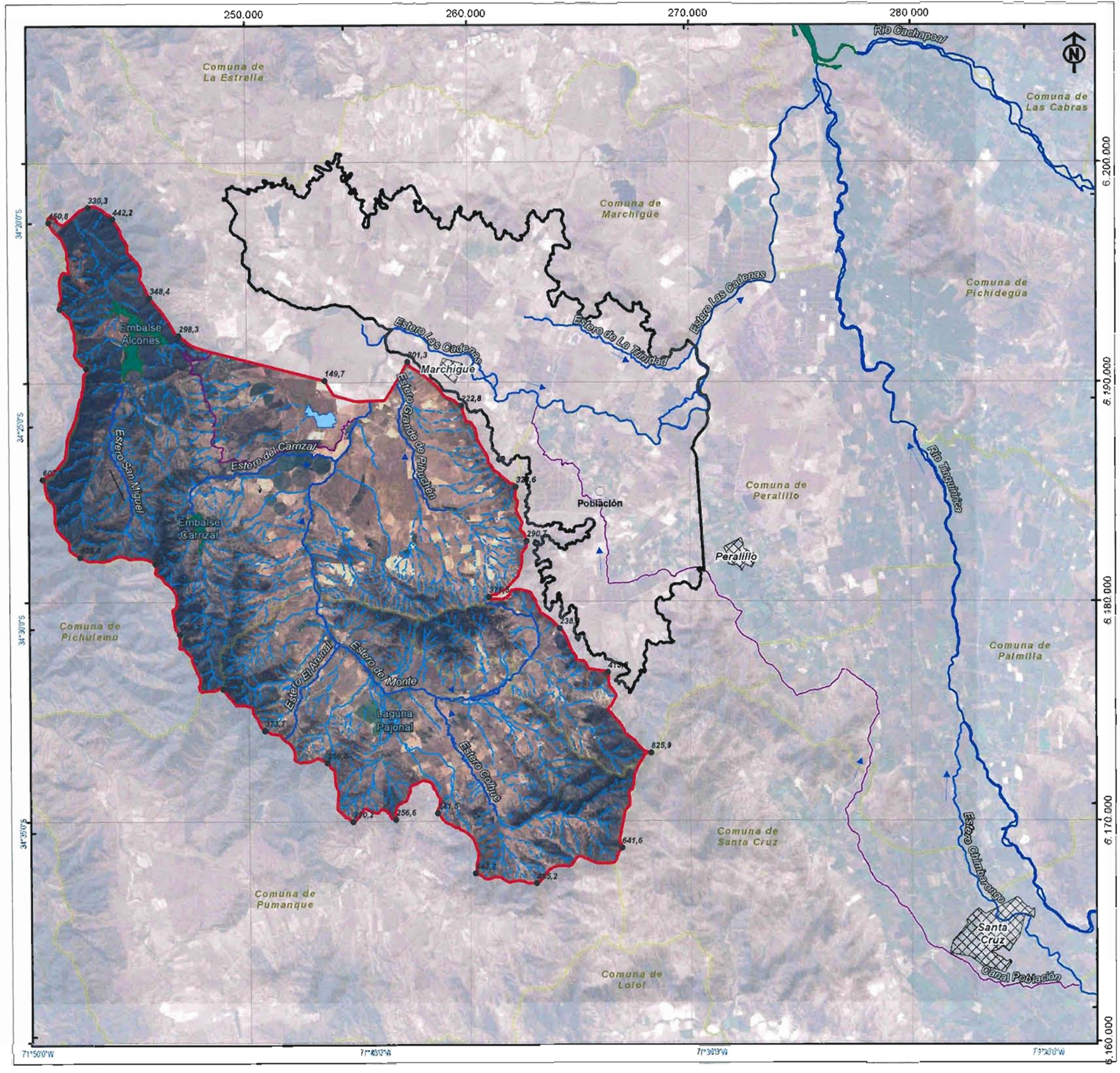


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
2.3 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 5.000 m

ESCALA 1:150.000



SIMBOLOGÍA BASE

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal

Poblado

Área urbana

Hidrografía

Divisoria
- Cota
- Límite SS Cca.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

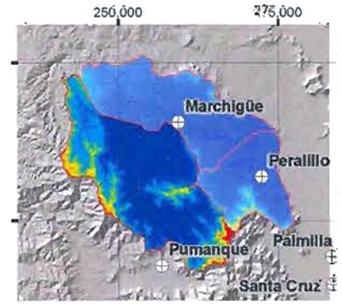
Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Sentido del escurrimiento

Drenaje
- Río
- Estero
- Quebrada Permanente
- Quebrada Intermitente
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 900
- Mín. : 140

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR
Gobierno de Chile

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

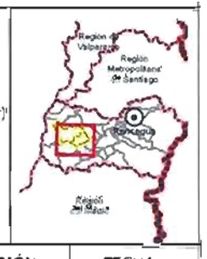
TEMA: Red Hidrica superficial de la Cuenca del Estero Yerbas Buenas

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina2.4_Red Hidrica superficial de la Cuenca del Estero Yerbas Buenas.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen Quickbird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F5-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)



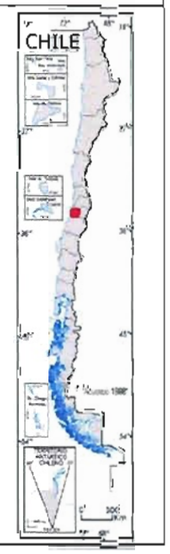


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
2.4 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 5.000 m

ESCALA 1:175.000

2.1.1.2 Pluviometría del Sector

En el estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VI Región, Modelación Hidrogeológica de los Valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca; DGA, S.D.T. N°209, 2005, se realizó un Análisis de la Pluviometría del sector de la Cuenca "Marchigüe".

De este estudio se ha tomado parte del Estudio Hidrológico, en la componente del Análisis Pluviométrico de las Cuencas asociadas a la zona del estudio, que queda en la Cuenca del Río Tinguiririca.

Las actividades realizadas en la componente hidrológica del estudio fueron:

- ✓ Análisis de la información pluviométrica. Se realizó un análisis de la información pluviométrica disponible y un relleno de datos faltantes.
- ✓ Análisis del régimen de precipitaciones. Se realizó un análisis del régimen de precipitaciones, tanto a nivel mensual como a nivel anual, ajustándose distintas distribuciones de probabilidad y seleccionando los modelos que mejor se ajustan a cada estación.

La Tabla 2.3 presenta las principales características de las estaciones meteorológicas disponibles en el área de estudio. En particular, se indican el código de la estación, coordenadas UTM, cota y la extensión del período de registros obtenido del Banco Nacional de Aguas (BNA), perteneciente al Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH) de la Dirección General de Aguas (DGA). La información pluviométrica recopilada corresponde a precipitaciones mensuales actualizadas al año 2004 para un total de 31 estaciones meteorológicas.

Tabla 2.3: Información General de Estaciones Meteorológicas Disponibles (Fuente Registros DGA).

N°	ESTACIÓN	CÓDIGO BNA	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m.s.n.m.)	DESDE (mm/aa)	HASTA (mm/aa)
1	Las Dos Puertas Fdo.	05800002-7	253070	625861	165	06/90	02/04
2	A. en V. de Paine	05716004-7	324143	625649	350	05/88	02/04
3	Laguna Aculeo	05716005-5	324211	625279	360	01/68*	02/04
4	Los Guindos	05747001-1	293445	624847	165	07/89	02/04
5	Las Melosas	05701005-3	389044	624822	152	07/62	02/04
6	Rapel	06056003-K	247387	623996	50	07/40	03/04
7	Villa Alhué	06040001-6	307659	623213	270	01/79	02/04
8	Barrera Loncha	06042004-1	298543	622639	130	05/84	02/04
9	Litueche	06055003-4	249419	622151	210	01/79	03/04
10	Rancagua Endesa	06010015-2	338691	621792	500	10/78	03/04
11	**Cocalán**	**06044001-8**	**291140**	**62132**	**19**	**11/78**	**03/04**
12	Coltauco	06012003-K	308225	620440	450	10/78	03/04
13	**Pichidegua**	**06019005-4**	**289978**	**61966**	**28**	**01/74**	**03/04**
14	Rengo	06015003-6	328410	619185	310	01/71	03/04
15	Popeta	06013005-1	336137	618829	460	01/70	03/04
16	Viña Vieja	06018009-1	311630	618782	315	01/58	07/03
17	Las Nieves Central	06013006-K	339296	618280	720	01/70	03/04
18	Millaje	06018010-5	296516	617826	370	01/72	03/04
19	**Nilahue Barahona**	**06132002-4**	**247696**	**61715**	**12**	**01/69**	**02/04**
20	San Fernando	06016004-K	319612	617134	350	09/71	03/04
21	La Rufina	06027003-1	338251	615504	735	05/29	02/04
22	Convento Viejo	06034003-K	307805	615076	245	09/71	03/04
23	El Membrillo	06130001-5	259080	614591	240	05/81	03/04
24	La Candelaria	06036001-4	275947	614264	220	05/74	03/04
25	Ranguilí	06130002-3	251604	614016	130	05/81	03/04
26	El Manzano	07104005-4	321895	613255	650	07/59	03/04
27	Santa Susana	07106007-1	334108	613093	480	07/81	03/04
28	Curicó	07118003-4	296136	612646	200	09/71	03/04
29	Los Queñes	07103003-2	334209	612538	809	02/20	03/04
30	Lontué	07119007-2	291698	612081	280	10/69	03/04
31	Villa Prat	07121003-0	261476	611267	75	06/92	02/04

*Registro completado con información disponible en los archivos del consultor.

Las estaciones sombreadas en gris corresponden a las 3 estaciones más cercanas a la zona de interés del presente estudio (Cocalán, Pichidegua y Nilahue

Barahona), y serán las que se presentan en detalle, con las cuales se logra caracterizar las precipitaciones en la zona de "Marchigüe".

En la Tabla 2.4 se muestra la distribución mensual de las precipitaciones para las 31 estaciones recopiladas. Se observa claramente la marcada estacionalidad de las precipitaciones.

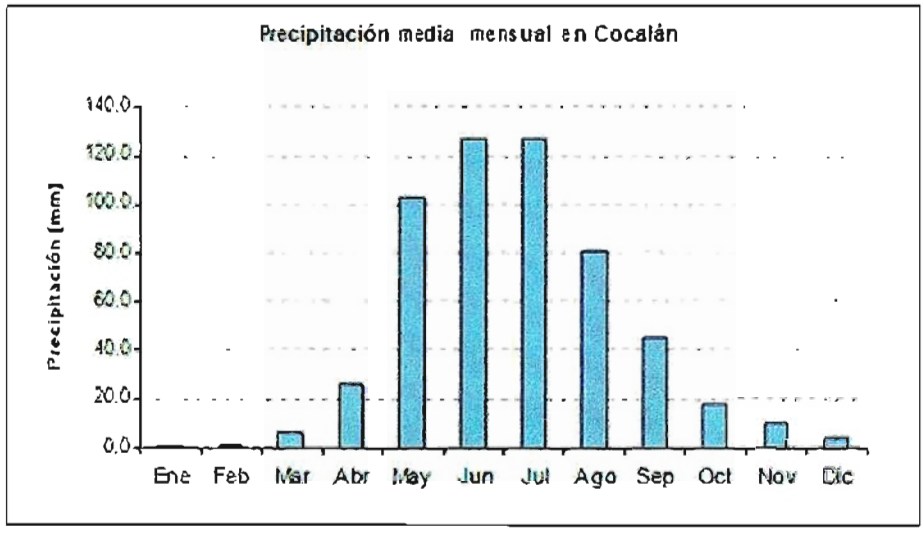
Se pueden distinguir como meses de lluvia la temporada de Abril a Octubre, produciéndose la mayor cantidad de precipitaciones en los meses de Junio y Julio. Por otro lado se pueden observar los meses de estío comprendidos entre Noviembre y Marzo (Los periodos de medición difieren entre una localidad y otra, por lo que los datos corresponden a medias representativas de cada mes).

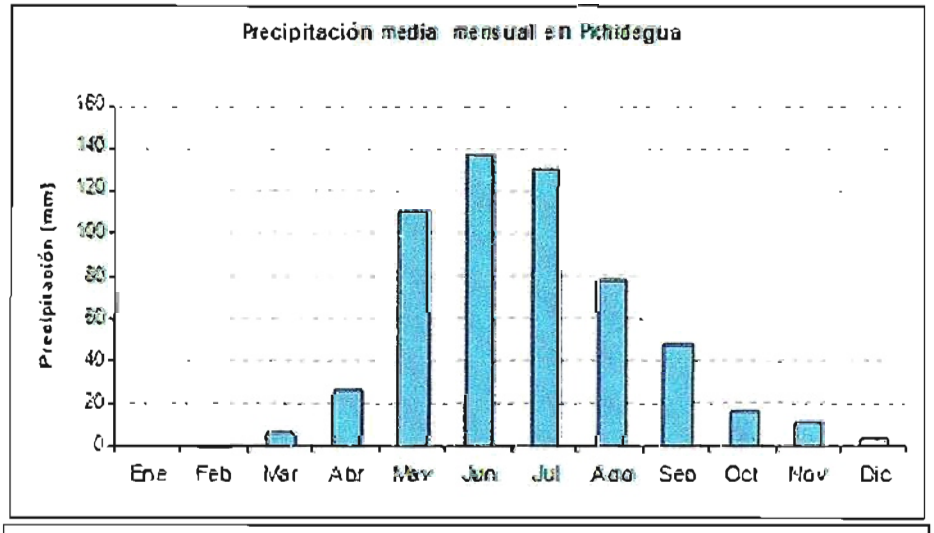
Tabla 2.4: Precipitación Media Mensual y Anual en Estaciones Meteorológicas (mm) (Fuente: Registros DGA).

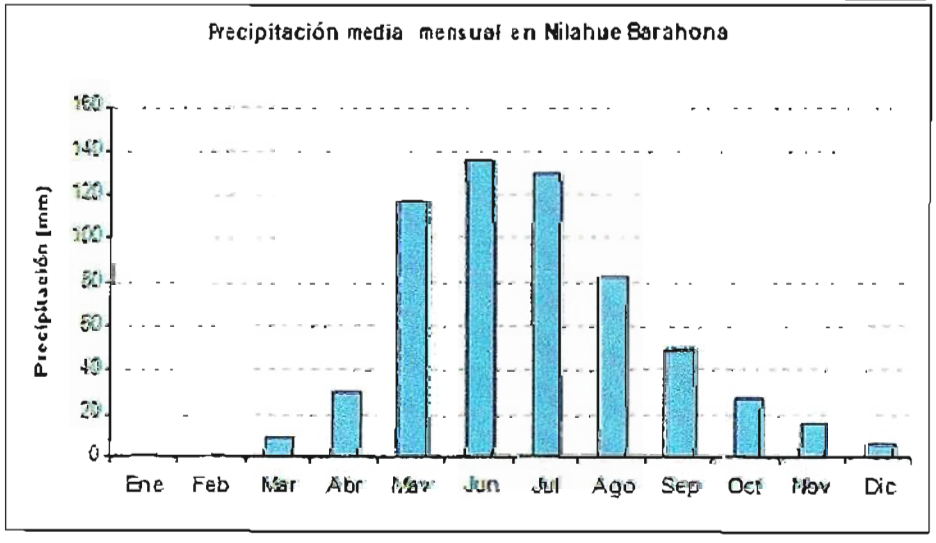
ESTACIÓN	COTA (m)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Las Dos Puertas F.	165	0.1	1.5	7.6	26.3	86.7	127.3	88.4	72.2	50.1	17.5	3.8	3.3	484.7
A. en V. De Paine	350	0.0	1.3	1.6	21.2	72.1	115.2	90.1	75.7	37.9	5.3	1.7	3.0	424.8
Laguna Aculeo	360	1.5	1.4	3.3	24.6	111.2	168.6	151.4	76.9	47.2	14.5	8.7	1.8	611.0
Los Guindos	165	0.0	1.9	2.9	20.3	92.5	168.2	91.5	84.1	49.7	10.8	3.3	2.0	527.3
Las Melosas	1527	5.2	3.4	10.1	57.4	133.4	184.7	168.5	98.2	59.4	34.4	20.5	6.6	787.7
Rapel	50	0.9	1.9	7.7	25.9	99.2	133.3	120.2	87.8	40.7	17.2	8.4	4.8	548.1
Villa Alhué	270	0.3	1.5	4.8	21.6	102.3	123.7	120.1	78.4	45.5	11.7	5.8	2.8	518.7
Barrera. Loncha	130	0.0	1.5	4.9	21.0	99.4	132.0	107.3	79.3	44.2	14.2	5.7	4.1	532.2
Litueche	210	0.1	2.8	10.0	42.2	135.7	169.8	166.6	105.9	57.7	21.6	7.1	3.8	723.3
R. Endesa	500	0.5	2.6	4.8	22.7	84.6	102.2	103.5	60.0	46.1	14.7	8.1	4.0	453.8
Cocalán	**195**	**0.4**	**2.0**	**6.5**	**26.5**	**103.4**	**127.1**	**126.9**	**81.1**	**45.2**	**17.5**	**9.4**	**4.2**	**550.2**
Coltauco	450	0.5	1.4	5.5	26.9	118.8	180.4	169.3	95.3	51.6	14.4	10.6	5.4	679.9
Pichidegua	**280**	**0.2**	**1.1**	**7.1**	**27.4**	**110.8**	**137.**	**129.7**	**77.3**	**47.9**	**16.6**	**11.7**	**3.5**	**570.5**
Rengo	310	0.9	1.6	5.1	25.1	92.8	142.8	123.6	69.3	50.5	22.6	12.9	5.8	553.1
Popeta	460	1.0	2.7	5.1	28.3	107.9	153.9	146.1	80.0	54.5	24.9	15.4	6.4	626.2
Viña Vieja	315	1.9	1.0	6.5	27.9	96.2	153.9	130.1	86.4	48.4	20.2	13.8	5.5	592.1
Las Nieves.	720	2.1	2.8	5.9	40.1	143.1	206.4	188.7	105.5	75.2	36.2	19.7	8.4	834.0
Millaje	370	0.2	1.0	6.7	25.5	105.8	131.3	121.6	76.5	44.9	16.4	10.9	3.3	544.3
N.Barahona	**120**	**1.5**	**1.4**	**8.6**	**29.5**	**118.0**	**136.6**	**130.2**	**82.7**	**49.4**	**27.4**	**15.1**	**6.4**	**610.0**
San Fernando	350	1.2	2.7	8.4	33.9	130.6	197.9	182.4	98.6	60.9	29.2	18.7	6.8	771.2
La Rufina	735	7.3	7.3	13.8	60.1	173.8	239.1	212.9	154.1	88.1	48.4	29.4	14.	1049.2
Convento Viejo	245	1.4	2.4	9.7	32.3	129.0	173.2	159.9	95.7	57.7	31.5	19.3	7.0	719.0
El Membrillo	240	3.0	3.0	12.0	40.9	129.2	173.3	139.0	109.8	69.0	34.0	11.2	4.4	728.6
La Candelaria	220	1.8	2.6	10.4	44.3	148.5	209.0	191.4	111.5	74.2	30.8	18.0	5.6	847.9
Ranguili	130	2.7	3.0	15.3	38.1	135.0	163.1	139.4	94.4	67.3	30.4	10.7	5.4	704.7
El Manzano	650	6.4	4.2	11.7	65.0	184.2	301.4	292.6	176.3	111.	72.1	43.4	16.	1288.4
Santa Susana	480	2.9	2.8	11.0	39.4	140.6	199.1	169.3	120.8	76.7	38.5	13.7	5.6	820.4
Curicó	200	3.5	1.9	12.5	33.7	133.7	165.8	150.5	93.2	59.5	31.3	18.1	7.2	715.7
Los Queñes	809	12.1	8.4	18.1	63.8	195.9	268.5	228.4	180.9	111.	76.7	37.7	21.	1236.6
Lontué	280	4.3	3.1	11.7	37.6	112.4	157.8	146.9	84.6	62.4	38.8	18.2	9.3	687.1
Villa Prat	75	3.6	5.3	13.0	47.5	141.0	181.9	111.1	105.3	73.0	27.8	11.7	4.9	726.0

A continuación se presentan las gráficas de las precipitaciones mensuales de las 3 estaciones de interés del presente estudio.

Figura 2.1: Precipitaciones Mensuales Estaciones en el Sector del Estudio.







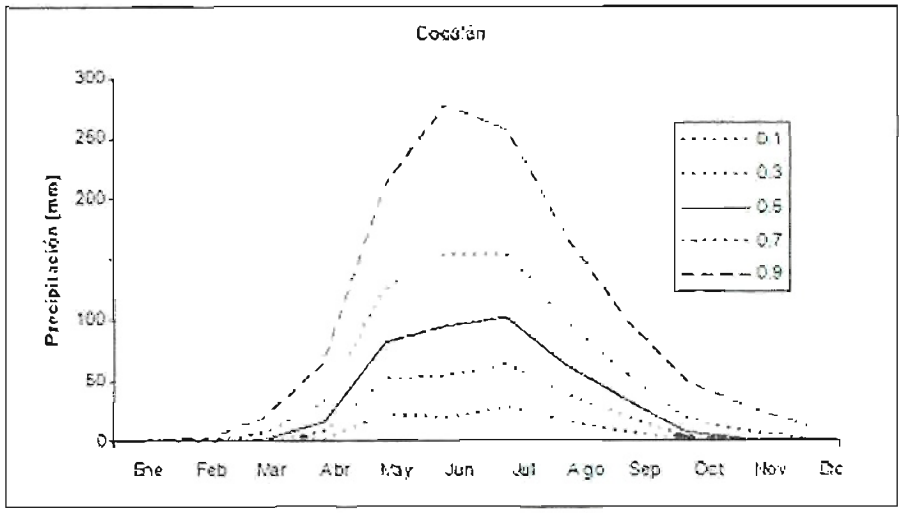
Habiendo terminado el relleno de los datos faltantes se procedió a realizar un ajuste de función de probabilidades para la precipitación mensual de cada una de las estaciones recopiladas en el área de estudio.

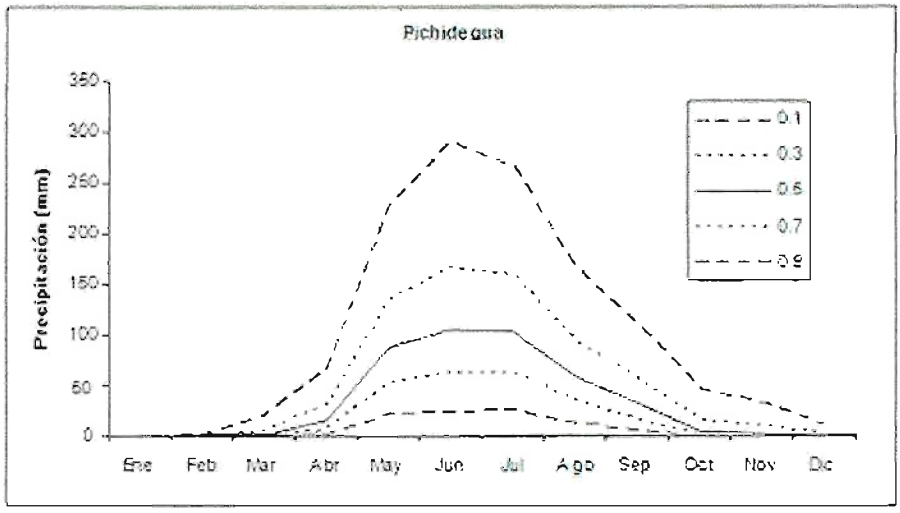
El primer paso consistió en la confección de histogramas para la precipitación mensual en cada una de las 31 estaciones. De esta manera, se consiguió tener una visión gráfica de la frecuencia relativa de ocurrencia para los distintos valores de precipitación y así seleccionar un grupo de funciones densidad de probabilidades, que pudiesen representar de manera satisfactoria dichos histogramas. Como característica general se observó como para bajos valores de precipitación la frecuencia relativa era alta, mientras al ir aumentando el valor de precipitación mensual, la frecuencia relativa disminuía significativamente. Se seleccionaron las distribuciones Exponencial, Gamma y Weibull ya que estas tres cuentan con la característica mencionada anteriormente. Los parámetros propios de las distribuciones consideradas fueron estimados a partir del método de los momentos.

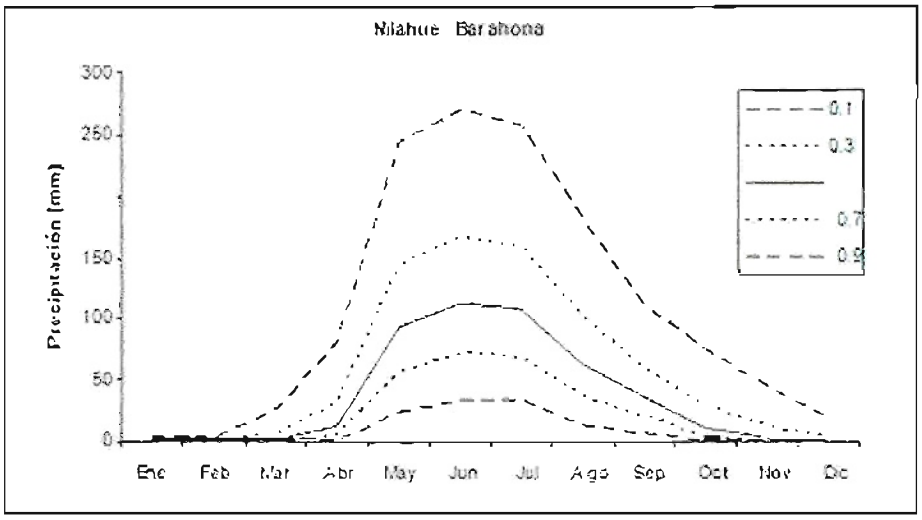
Para evaluar la bondad del ajuste de cada una de las distribuciones probabilísticas seleccionadas se procedió a contrastar, gráficamente, la probabilidad empírica acumulada con la probabilidad acumulada teórica obtenida a partir de las funciones probabilísticas, utilizando los parámetros estimados. Para obtener la probabilidad empírica se utilizó la posición de ploteo de Weibull ya que entrega un estimador no sesgado de la probabilidad. Mediante la comparación del ajuste de las tres funciones de densidad antes mencionadas, se pudo apreciar que las distribuciones Gamma y Weibull presentaban un ajuste bastante similar y muy superior a la distribución exponencial. Finalmente, se optó por la distribución Gamma por ajustarse esta de mejor manera para valores bajos de precipitación mensual.

En la Figura 2.2 se muestran los resultados del ajuste para precipitación mensual para las estaciones de interés. Se presenta, en particular, probabilidades de excedencia de 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 y 0.9.

Figura 2.2: Precipitaciones para Diferentes Probabilidades de Excedencia.



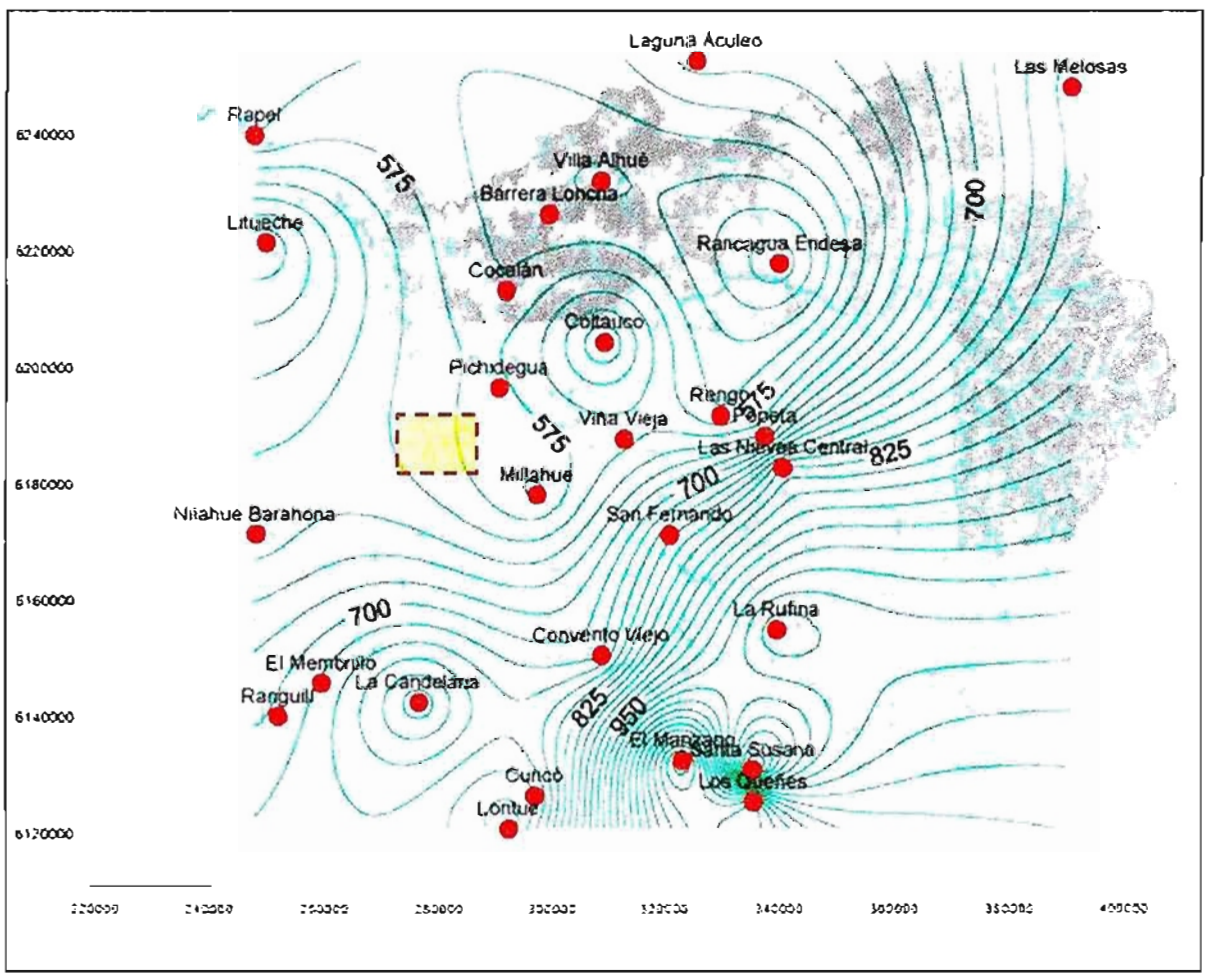




Isoyetas

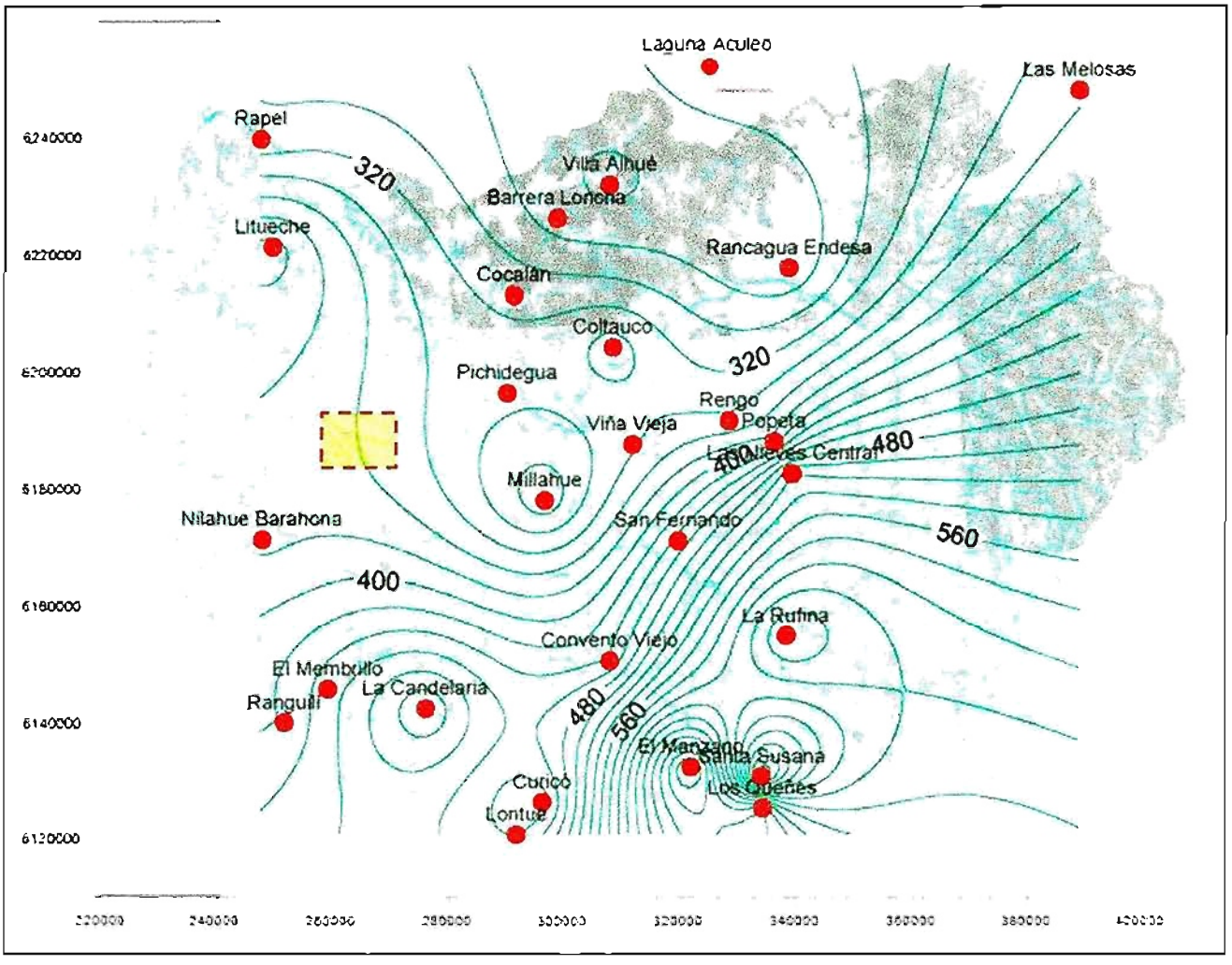
Habiendo determinado una distribución que se ajustara a los datos de precipitación anual, en este caso la distribución Normal, fue posible definir las isoyetas para la zona de estudio. En particular se definieron isoyetas para tres situaciones: La situación promedio, representada por isoyetas de 50% de probabilidad de excedencia, una situación de sequía representada por isoyetas de 85% de probabilidad de excedencia y una situación de año lluvioso mediante isoyetas de 15% de probabilidad de excedencia.

Figura 2.3: Isoyetas de Precipitación Anual de 50% de Probabilidad de Excedencia (Fuente: DGA S.D.T. N° 209).



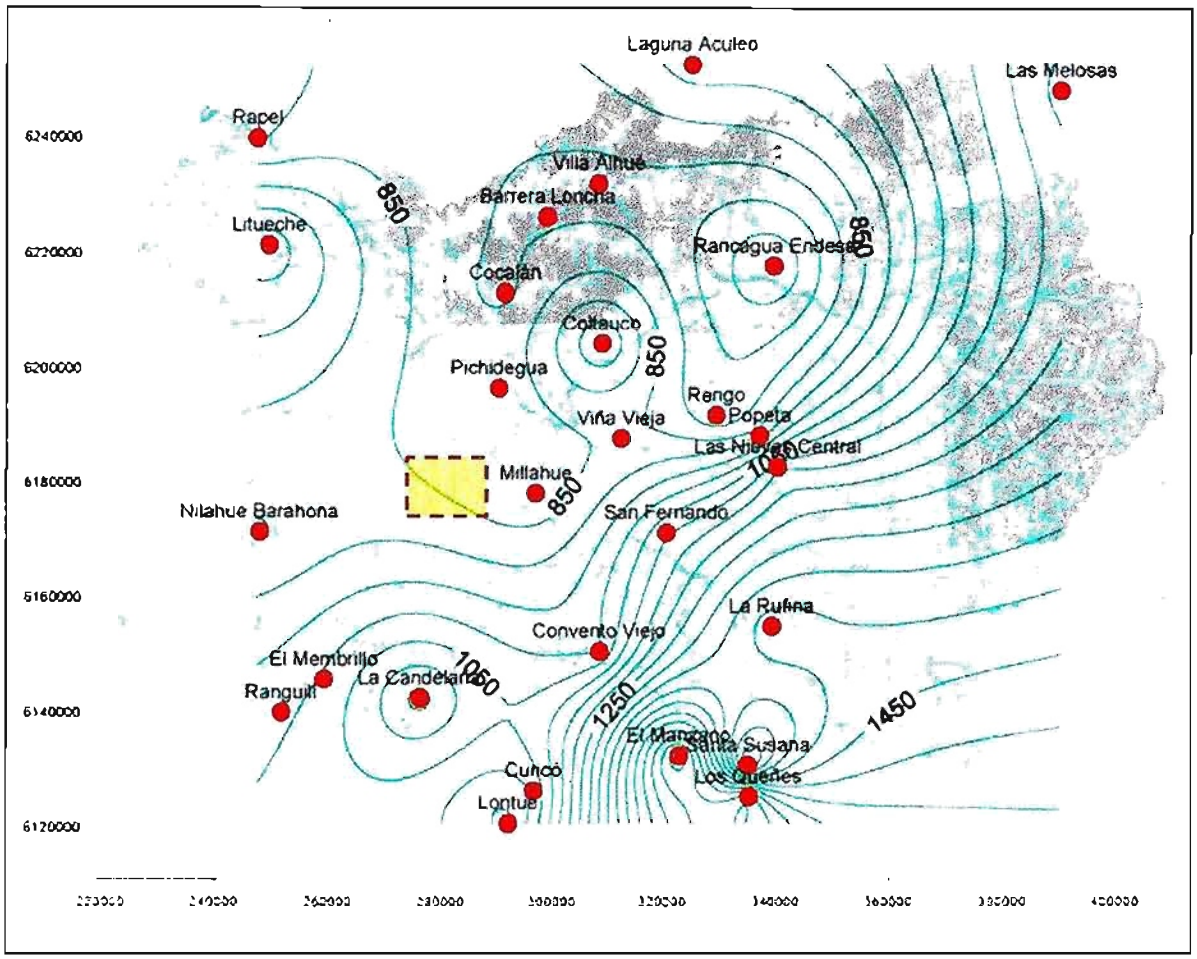
De la Figura 2.3 se tiene que para un año normal la Precipitación en el sector de "Marchigüe" es de 600 (mm) anuales. El cuadro en amarillo representa la zona de "Marchigüe".

Figura 2.4: Isoyetas de Precipitación Anual de 85% de Probabilidad de Excedencia (Fuente: DGA S.D.T. N° 209).



De la Figura 2.4 se tiene que para un año seco la Precipitación en el sector de "Marchigüe" es de 360 (mm) anuales.

Figura 2.5: Isoyetas de Precipitación Anual de 15% de Probabilidad de Excedencia (Fuente: DGA S.D.T. N° 209).



De la Figura 2.5 se tiene que para un año lluvioso la Precipitación en el sector de "Marchigüe" es de 850 (mm) anuales.

2.1.1.3 Análisis de Interacción Río Acuífero Sobre el Modelo Las Cadenas

Del análisis de los caudales netos de afloramiento o infiltración (Ref: Estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VI Región, DGA, S.D.T. N°209, 2005), se realizó un Análisis de la Pluviometría del sector de la Cuenca "Marchigüe" obtenidos desde el modelo de simulación para la situación de régimen natural y el escenario de operación de la demanda total se tiene que la zona 8 que corresponde al sector de "Marchigüe", pasa de ser una zona de afloramiento en régimen natural (río que gana 670 (l/s) desde el agua

subterránea) a una zona de infiltración en las simulaciones de largo plazo bajo la operación de los pozos (río que pierde (80 l/s) al acuífero) producto de una pérdida en el río de 750 (l/s). El resto de las zonas corresponden a zonas de afloramiento en régimen natural y la operación de los pozos en el largo plazo, dado que la operación de los pozos al cabo de 50 años afecta escasamente los flujos superficiales.

El cauce principal de esta zona se refiere al Estero Las Cadenas.

No existen registros de caudales en este curso de agua, ni mediciones en alguna fecha, para poder disponer de alguna estimación de la disponibilidad del mismo.

2.1.2 Estimación hidrológica en puntos de interés

Para la determinación de los caudales disponibles en los puntos de interés, es decir, en aquellos puntos factibles de implementar el Proyecto Piloto de Recarga del Acuífero "Marchigüe", se ha considerado relevante caracterizar los recursos hídricos de:

- **Canal Población - Estero Chimbarongo**. Dado que es de este estero que se derivan aguas hacia el Canal Población, en el cual se han definido, a lo largo de su trazado potenciales sectores de interés para materializar PPRAA, se determinarán los recursos disponibles de excedencia de caudales. En las Lámina 2.3 y Lámina 2.4 se presenta el trazado del Canal Población a lo largo de 50 (km), desde la bocatoma en el Estero Chimbarongo (Santa Cruz), hasta el sector de descarga al estero Las Cadenas en Marchigüe (sector Santa Ana). Decisión

Se tiene una data de más de 30 años de registros fluviométricos del Estero Chimbarongo en Santa Cruz, lo que permite realizar una caracterización adecuada de la hidrología de este cauce, y de los caudales disponibles para ser derivados hacia el canal Población.

- **Estero Las Cadenas en Marchigüe**. Este estero recorre el sector Oeste y central de la cuenca en estudio, según se detalla en la Lámina 2.3. A lo largo de su trazado se espera identificar sitios con aptitudes para materializar PPRAA. Dado que no se cuenta con estaciones fluviométricas en el sector, se determinarán los caudales disponibles a partir de relaciones de precipitación escorrentías para años con distinta probabilidad de excedencia.

2.1.2.1 Canal Población – Estero Chimbarongo

En el Anexo A se presentan los datos originales de la estación fluviométrica Estero Chimbarongo en Santa Cruz., que datan desde 1945 hasta 1980. Adicionalmente se han presentado los datos de la Estación en Chimbarongo vigente ubicada unos 5 (km) aguas arriba de la estación en Santa Cruz, que tiene registros desde fines del 2008, y que utilizará para vincular los datos obtenidos del Canal Población con los del Estero Chimbarongo en esa ubicación.

A continuación se presentan los resultados del Análisis Estadístico realizado a las series mensuales de caudales medios mensuales del Estero.

Resulta interesante presentar la Serie de Caudales, con los valores medios de los Caudales Medios Mensuales de la Serie Histórica.

En la Figura 2.6 se aprecia que las crecidas son pluviales y de mayor intensidad entre junio y agosto, con magnitudes del orden de 40 (m^3/s).

En el Anexo A se presenta el Análisis de Frecuencia realizado a las Series Mensuales del Estero Chimbarongo en Santa Cruz.

Figura 2.6: Valores Medios de la Serie de Caudales Medios en Estero Chimbarongo en Sta. Cruz (1945-1980).

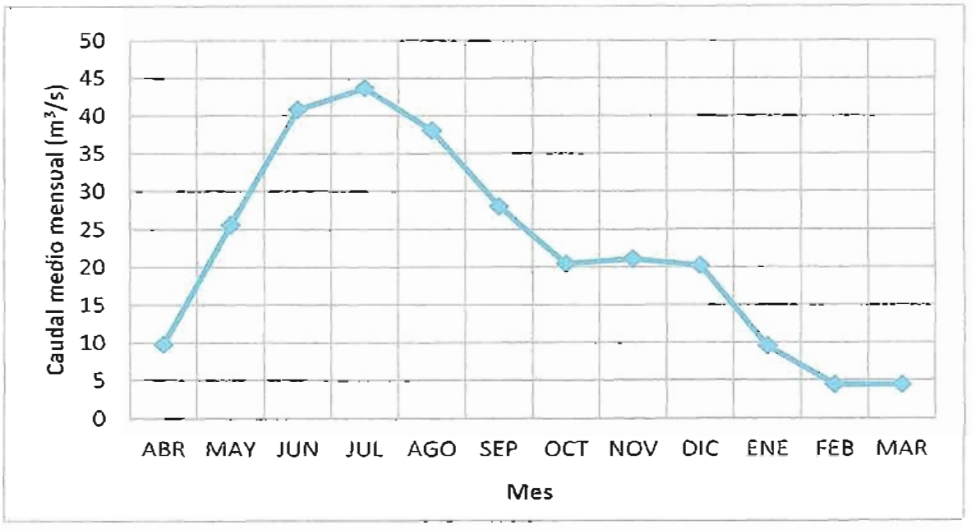


Tabla 2.5: Caudales Medios Mensuales Estero Chimbarongo

MES	Q medio (m^3/s)
ENE	9.56
FEB	4.43
MAR	4.42
ABR	9.80
MAY	25.62
JUN	40.87
JUL	43.72
AGO	38.09
SEP	27.99
OCT	20.47
NOV	21.09
DIC	20.24

Se ha considerado la Distribución Gamma como la distribución más representativa dado que los test de bondad de ajuste para esta función de distribución fueron buenos en los 12 meses, y para escoger una única función en todos los casos, considerando un comportamiento regular de las precipitaciones se optó finalmente por esta distribución.

En la Figura 2.7 y Tabla 2.6 se presentan los caudales medios mensuales en Estero Chimbarongo en Santa Cruz.

Figura 2.7: Caudales Medios Mensuales para Diferentes Probabilidades de No Excedencia

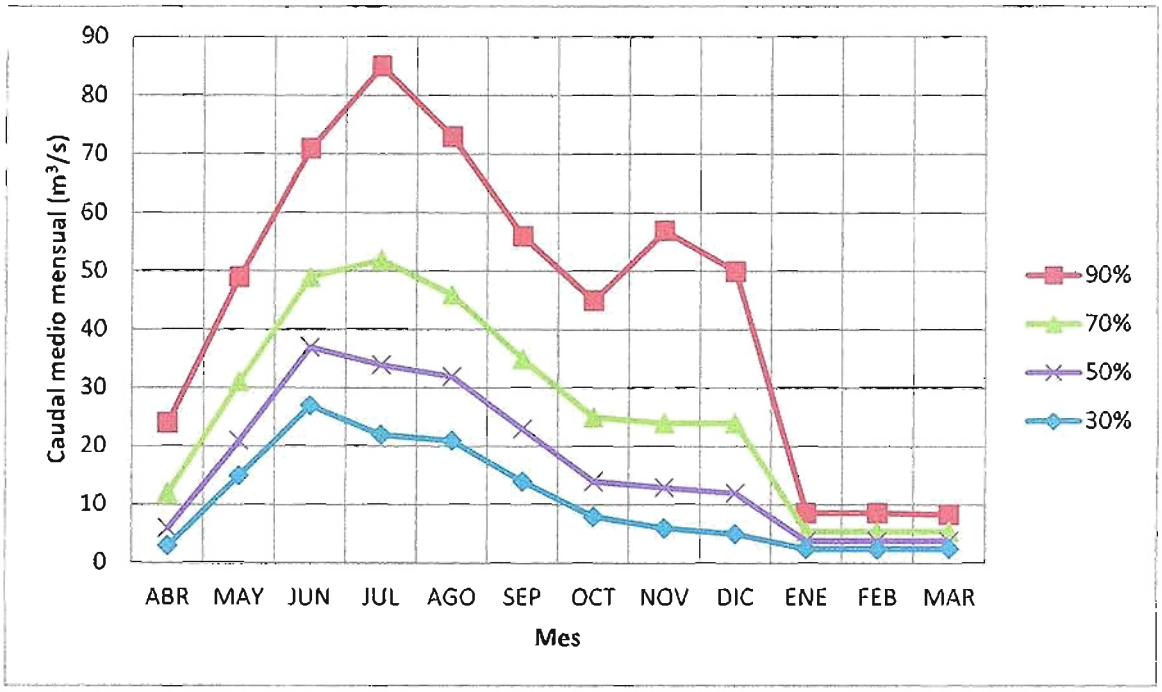


Tabla 2.6: Caudales Medios Mensuales Estero Chimbarongo, Distintas Probabilidades de No Excedencia.

	Caudal (m^3/s)			
MES	**90%**	**70%**	**50%**	**30%**
ENERO	8.6	5.4	3.8	2.5
FEBRERO	8.6	5.4	3.8	2.4
MARZO	8.3	5.4	3.8	2.5
ABRIL	24	12	6	3
MAYO	49	31	21	15
JUNIO	71	49	37	27
JULIO	85	52	34	22
AGOSTO	73	46	32	21
SEPTIEMBRE	56	35	23	14
OCTUBRE	45	25	14	8
NOVIEMBRE	57	24	13	6
DICIEMBRE	50	24	12	5

Actualmente existe una Estación en Chimbarongo, ubicada a unos 5 (km) hacia aguas arriba, denominada Estero Chimbarongo en Puente el Huape.

Los registros de esta estación datan desde el año 2009 a la fecha, lo cual es una serie muy pequeña para cualquier análisis de frecuencia, pero si hemos realizado la comparación de los valores medios de esta estación y la antigua, para poder utilizar posteriormente estos datos de manera simultánea con las mediciones en Canal Población.

Los valores promedios de ambas series son:

Tabla 2.7: Promedio de la Serie de Caudales Medios Mensuales en Estero Chimbarongo.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	Caudal (m^3/s)											
Sta. Cruz	9.6	4.4	4.4	9.8	25.6	40.9	43.7	38.1	28.0	20.5	21.1	20.2
Pte. El Huape	9.9	10.5	7.9	20.2	29.8	35.2	36.7	33.6	34.1	22.9	19.6	30.4

De los datos de la Tabla 2.7 se aprecia que los valores son muy semejantes, por lo cual podemos considerar que estos datos de caudales de la nueva estación Puente El Huape deberían ser similares a los que se tendrían en la Estación Santa Cruz que está actualmente suspendida.

1. Canal Población – Caudales Históricos Registrados

Parte de los caudales disponibles del Estero Chimbarongo son captados mediante Bocatoma y desviados hacia el Canal Población, el cual recorre aproximadamente 50km, desde la Bocatoma en Chimbarongo, hasta la descarga al Estero Las Cadenas, en el sector de Santa Ana. A lo largo de su trazado tiene varias derivaciones laterales para alimentar de recursos hídricos para riego de los sectores agrícolas (146 obras de arte y 15 obras de regulación). Posee un total de 3000 acciones equivalentes a 1 (l/s) cada una, las cuales son repartidas a lo largo de todo su trazado, y en el tramo final (Sector Santa Ana), las acciones disponibles equivalen a 116 (l/s) (Junta de Vigilancia Estero Chimbarongo).

La Figura 2.8 muestra un esquema unifilar del canal Población a lo largo de su trazado. La Tabla 2.8 presenta el registro de caudales medidos en el canal Población en el sector de Bocatoma Chimbarongo.

Tabla 2.8: Caudales Medios Mensuales (m^3/s) Registrados en Canal Población en Bocatoma.

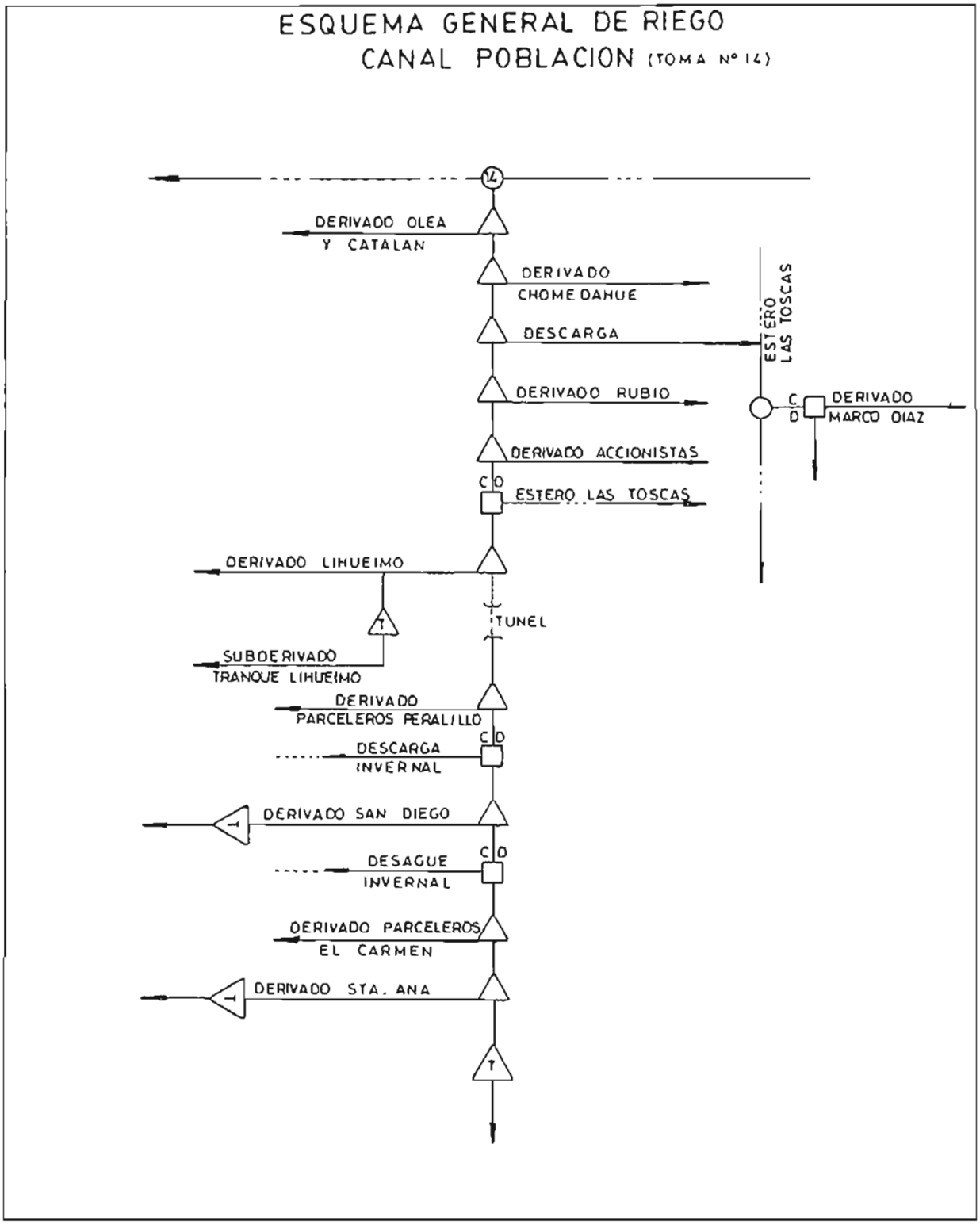
	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14
SEP	-	0.3	0.8	0.7
OCT	2.0	3.1	*	*
NOV	2.2	3.9	*	2.2
DIC	2.3	4.0	*	3.0
ENE	2.4	4.6	*	*
FEB	2.0	3.9	3.4	
MAR	1.9	3.4	2.1	
ABR	2.3	3.0	1.8	
MAY	1.5	1.5	1.0	
JUN	0.2	-	-	

Del análisis de disponibilidad de recursos hídricos en épocas de invierno del Estero Chimbarongo (Figura 2.7 y Tabla 2.6), y de la capacidad de porteo registrada en el Canal Población (Tabla 2.7), se desprende que existen recursos hídricos disponibles, en épocas de No Riego (Abril a Septiembre), que pueden ser derivados hacia el Canal Población, y ser utilizados como fuente de recarga para PPRAA.

2.1.2.2 Estero Las Cadenas en Marchigüe

Para evaluar la escorrentía total anual del estero Las Cadenas a la altura de las localidades del estudio se utilizó la estadística de precipitaciones generadas en la cuenca y la fórmula de Peñuelas. Una vez generadas las escorrentías totales mensuales, se estimó que la escorrentía subterránea equivale a un 10% de la escorrentía total (mayor información: ESSEL, 1997), según se puede observar más adelante dentro de este apartado (**Escorrentía Superficial**).

Figura 2.8: Diagrama Unifilar Canal Población (REG Ingenieros, 1982 Tomo II).



2.1.2.3 Metodología Determinación de Caudales

La finalidad del presente análisis es caracterizar el régimen de precipitaciones del área de las localidades de Trinidad y Los Maitenes. Para ello, se procedió a trazar el mapa de isoyetas anuales de precipitaciones con 50% de probabilidad de excedencia utilizando la información disponible en el "Estudio de Prefactibilidad Hoya del Río Rapel". El plano de isoyetas y la cuenca del estero Las Cadenas se muestran en la Figura 2.3.

Para calcular la precipitación anual promedio sobre la cuenca de interés, se utilizó la siguiente expresión:

$$P = \frac{\sum P_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Donde:

P : Precipitación anual promedio

Pi : Precipitación asociada a la isoyeta i

Ai : Área de influencia de la isoyeta i

El área total de la cuenca del estero Las Cadenas que tiene su salida frente a Marchigüe, medida en las cartas a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar, es de 524,3 (km^2), en tanto que la precipitación calculada según la expresión anterior es igual a 527,0 (mm).

Posteriormente se procedió a generar una serie estadística de precipitaciones mensuales promedio en la zona de interés. Para calcular esta precipitación en un mes cualquiera, se multiplicó la precipitación medida en una estación conocida, en el que el régimen de lluvias fuera semejante al de esta zona, por un factor de

transposición de precipitaciones. En este caso, se consideró la estadística de la estación Marchigüe como base del estudio, la cual se presenta en el Anexo A.

La precipitación mensual promedio de la cuenca en un mes i cualquiera está dada por:

$$P_{\text{mes i, cuenca}} = K * P_{\text{mes I, base}}$$

Donde:

$P_{\text{mes I, cuenca}}$: Precipitación mensual promedio de la cuenca en el mes *i*.

K: Factor de transposición de precipitaciones, definido como la razón entre la precipitación media anual correspondiente a la probabilidad de excedencia 50% sobre la cuenca considerada y la precipitación anual de la estación base asociada a la misma probabilidad de excedencia.

$P_{\text{mes i, base}}$: Precipitación media mensual de la estación base en el mes i.

Considerando que la precipitación anual de la estación base correspondiente al 50% de probabilidad de excedencia es igual a 532,2 (mm), resulta que el factor de transposición de precipitaciones es igual a 0,99.

A partir de estos coeficientes se generó la estadística de precipitaciones medias mensuales de la cuenca asociada a las localidades del estudio, la que se presenta en el Anexo A.

Escorrentía Superficial

El análisis de caudales medios mensuales está destinado a determinar cuantitativamente los recursos superficiales disponibles. Dado que en este caso el cauce del estero Las Cadenas, que podría tener recursos superficiales de interés, no tiene control fluviométrico, se utilizará la fórmula empírica de Peñuelas (Chile, Quintana, 1930). Ésta corresponde a una relación precipitación - escorrentía y permite calcular la escorrentía total anual de una cuenca de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E = 0,5 * P^2$$

donde:

E : Escorrentía total anual (m).

P : Precipitación anual sobre la cuenca (m).

Una forma simple para obtener los valores de escorrentía mensual consiste en distribuir la escorrentía total anual a lo largo del año de acuerdo a la distribución de las precipitaciones mensuales de la estación base para el mismo año.

En el Anexo Ase presenta la información de caudales medios mensuales totales generados para la cuenca del estero Las Cadenas en la vecindad a las localidades en estudio. De acuerdo a esta información, el caudal medio anual total es de 527 (l/s).

Considerando la capacidad del acuífero en esta zona, se puede asumir que un 10% de este valor se incorpora a la napa, lo que daría una infiltración anual promedio en la cuenca de 52,7 (l/s), en tanto que el caudal superficial medio anual sería de 474,3 (l/s).

Sin embargo, debe señalarse que la metodología utilizada para generar la escorrentía no considera los efectos recesivos de las precipitaciones, es decir,

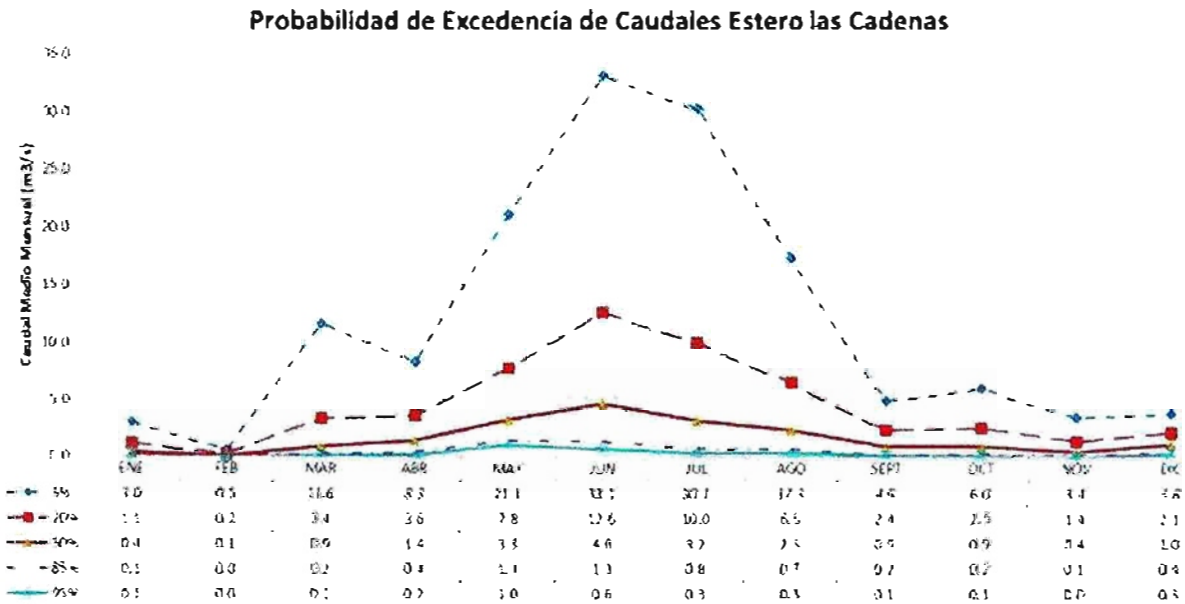
supone que la escorrentía es producida dentro del mismo mes en que la precipitación acontece.

En la Tabla 2.9 se muestra el análisis de frecuencia y en la Figura 2.9 la correspondiente curva de variación estacional. El caudal medio anual del estero Las Cadenas en Trinidad y Los Maitenes es de 2,6 (m^3/s), aunque la mayor parte del tiempo el cauce se presenta totalmente seco.

Tabla 2.9: Análisis de Frecuencia de Caudales Medios Mensuales Estero Las Cadenas en Trinidad y Los Maitenes.

MES	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA				
	5%	20%	50%	85%	95%
	m^3/s				
ENERO	3.0	1.1	0.4	0.1	0.1
FEBRERO	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0
MARZO	11.6	3.4	0.9	0.2	0.1
ABRIL	8.3	3.6	1.4	0.4	0.2
MAYO	21.1	7.8	3.3	1.4	1.0
JUNIO	33.1	12.6	4.6	1.3	0.6
JULIO	30.1	10.0	3.2	0.8	0.3
AGOSTO	17.3	6.5	2.3	0.7	0.3
SEPTIEMBRE	4.9	2.4	0.9	0.2	0.1
OCTUBRE	6.0	2.5	0.9	0.2	0.1
NOVIEMBRE	3.4	1.4	0.4	0.1	0.0
DICIEMBRE	3.8	2.1	1.0	0.4	0.3

Figura 2.9: Análisis de Frecuencia Caudales Medios Mensuales Estero Las Cadenas en Trinidad y Los Maitenes.



Se puede determinar del análisis, que existe disponibilidad hídrica en los meses de invierno, para años con 50 % de probabilidad de excedencias, los cuales pueden ser utilizados como fuente de alimentación de PPRAA.

2.2 Análisis Geológico Preliminar de la Región de O'Higgins.

2.2.1 Marco Geológico Regional

Las unidades geológicas reconocidas en esta región en el Mapa Geológico de Chile Escala 1:1.000.000 que se describen a continuación, también se pueden observar en el área de estudio (Lámina 2.5).

Basamento metamórfico, Paleozoico Superior (Thomas, 1958): Está compuesta por diversos tipos de roca como esquistos, filitas, metareniscas y pizarras, observándose un aumento de la alteración hacia los flancos de las colinas, quebradas y esteros (DGA, 2003). Este aflora hacia la costa de la región, donde presenta contacto con rellenos de depósitos de ambiente marino y subaéreo del Neógeno Superior en notoria discordancia por erosión (Thomas, 1958).

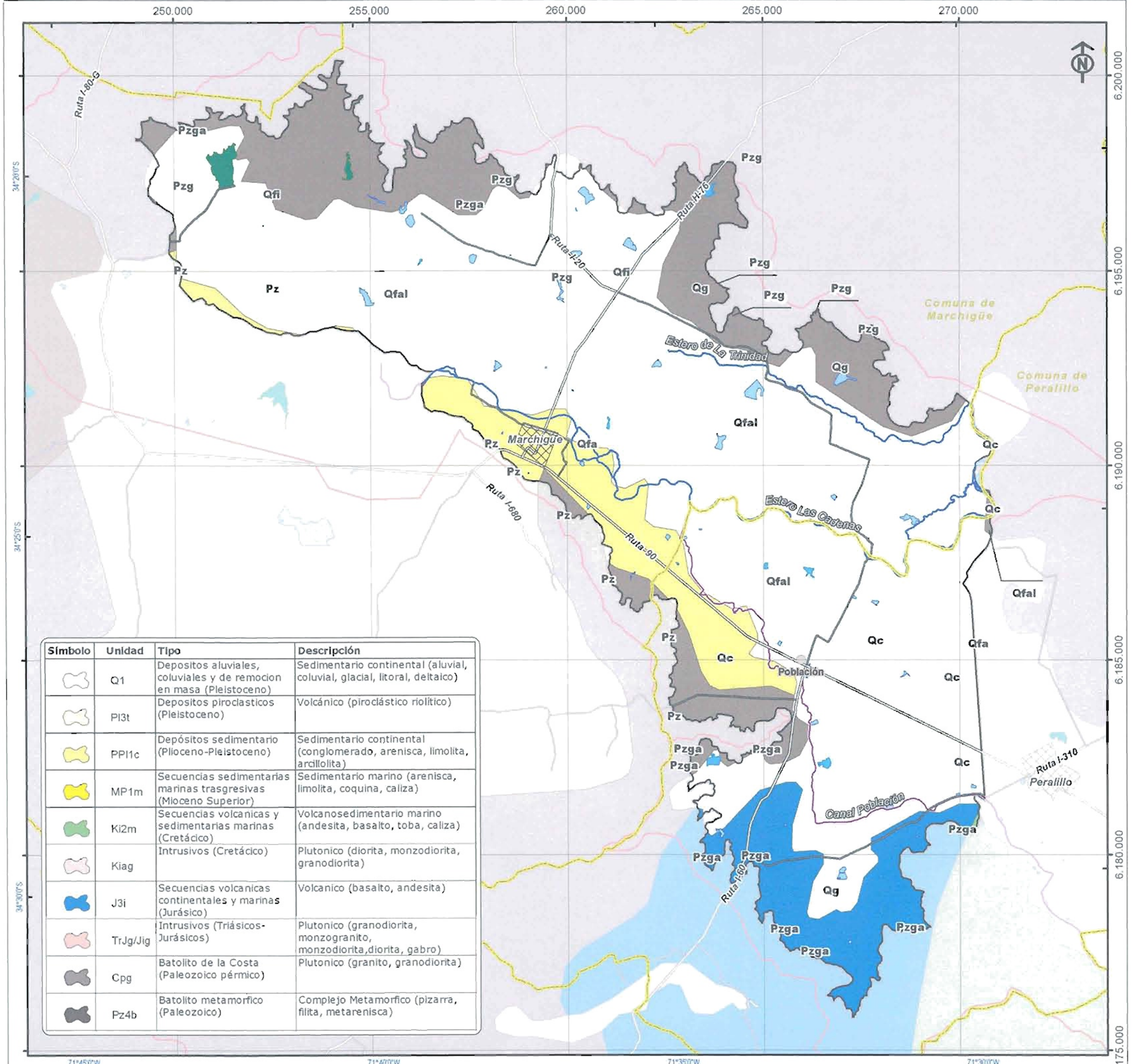
Batolito de la Costa, Paleozoico Superior (Klohn, 1960): Corresponde al flanco oriental de la Cordillera de la Costa y tiene rocas de composición granodiorítica, monzonítica, diorítica y monzodiorítica. Se halla en contacto con el basamento metamórfico.

Formación Leñas-Espinoza, Kimmeridgiano (Charrier et al., 1983): Corresponde a depósitos de un ambiente volcánico activo de turbiditas de piroclastos acumulados en ambientes lacustres, contiene secuencias rítmicas de brechas y arenitas piroclásticas con estratificación gradada e intercalaciones pelíticas. Además, presenta una parte superior predominantemente calcárea, que Charrier (1981) relaciona a la formación Baños del Flaco, definiéndose esta formación como sólo la parte inferior clástica, no calcárea.

Formación Río Damas, Kimmeridgiano (Covacevich et al., 1976): Esta formación se encuentra bajo la Formación Baños del Flaco. Está compuesta por rocas volcánicas andesíticas grises, con fenocristales de plagioclasa y piroxenita, y con pequeñas amígdalas de clorita; además de un nivel de conglomerados y

areniscas conglomerádicas, con clastos redondeados y de naturaleza andesítica, que aumenta de espesor hacia el sur y el suroeste.

Formación Baños del Flaco, Titoniano Inferior – Hauteriviano (Covacevich et al., 1976): Esta formación sería equivalente a la Formación Lo Valdés en la Región Metropolitana. El contacto con la Formación Río Damas es del tipo discordante por erosión, estando constituida por areniscas calcáreas de grano fino a grueso, calizas arenosas y limolitas, muy bien estratificadas, con espesores de 5 a 15 (cm) hasta 1 (m), de colores de alteración rojizos, verdes o amarillentos con clastos andesíticos y contenido fosilífero del tipo bioclastos de algas o corales como fósiles de cuerpos cálcicos o fragmentos. Algunos ejemplos del contenido fosilífero son: Megatrigonia, Virgatosfincte, Exógira, entre otros del Titoniano Inferior; mientras que Aulacosfinctes y Eutrefoceras representan al Titoniano Inferior-Medio. También se identifica un nivel de Trigonias, que conforma el grupo faunístico más grande y diverso dentro de esta formación.



Simbolo	Unidad	Tipo	Descripción
	Q1	Depositos aluviales, coluviales y de remocion en masa (Pleistoceno)	Sedimentario continental (aluvial, coluvial, glacial, litoral, deltaico)
	Pl3t	Depositos piroclasticos (Pleistoceno)	Volcánico (piroclástico riolítico)
	PPl1c	Depósitos sedimentario (Plioceno-Pleistoceno)	Sedimentario continental (conglomerado, arenisca, limolita, arcillolita)
	MP1m	Secuencias sedimentarias marinas trasgresivas (Mioceno Superior)	Sedimentario marino (arenisca, limolita, coquina, caliza)
	Ki2m	Secuencias volcanicas y sedimentarias marinas (Cretácico)	Volcanosedimentario marino (andesita, basalto, toba, caliza)
	Kiag	Intrusivos (Cretácico)	Plutonico (diorita, monzodiorita, granodiorita)
	J3i	Secuencias volcanicas continentales y marinas (Jurásico)	Volcanico (basalto, andesita)
	TrJg/Jig	Intrusivos (Triásicos-Jurásicos)	Plutonico (granodiorita, monzogranito, monzodiorita,diorita, gabro)
	Cpg	Batolito de la Costa (Paleozoico pérmico)	Plutonico (granito, granodiorita)
	Pz4b	Batolito metamorfico (Paleozoico)	Complejo Metamorfico (pizarra, filita, metarenisca)

SIMBOLOGÍA BASE

Asentamientos Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal
- Área urbana

Hidrografía Drenaje
- Estero
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

Caminos
- Pavimentado
- Sin pavimentar

Unidad Análisis
- Límite SS Cca.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuifero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Unidad
- Q1
- Pl3t
- PPl1c
- MP1m
- Ki2m
- Kiag
- J3i
- TrJg/Jig
- Cpg
- Pz4b

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS

Elevación (m)
Máx. : 900
Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Geologia General del Área de Estudio

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina2.5_Geología General.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

LÁMINA / VERS.	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
2.5 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000

Las Chilcas, Barremiano – Albiano (Thomas, 1958): Se presenta principalmente al noreste de Santiago, mientras que disminuye su potencia hacia el Sur en facies sedimentarias, presentándose hasta los 34º S de latitud (Corvalán y Munizaga, 1972). Resulta ser una secuencia volcánica sedimentaria caracterizada por brechas volcánicas, tobas, aglomerados, lutitas y conglomerados con rodados muy gruesos, de ambiente continental (Vergara y Drake, 1979; Godoy et al, 2009). Se apoya sobre las formaciones Lo Prado, de modo muy discordante, y Veta Negra (Barremiano-Aptiano), levemente discordante (Sellés y Gana, 2001).

Formación Lo Valle, Cretácico Superior – Terciario Inferior (Thomas, 1958): Está compuesta por rocas volcánicas ácidas, brechosas y tobáceas de evidente ambiente continental (SERNAGEOMIN, 1983-1984), más específicamente, ignimbritas riolíticas y dioríticas, andesitas y rocas piroclásticas, intercaladas con sedimentos lacustres. Se halla en contacto con la Formación Las Chilcas sobreyaciéndola en discordancia. Su extensión abarca desde los 32º 30' hasta los 35º 30' de latitud sur por la Cordillera de la Costa.

Formación Coya-Machalí, Eoceno Superior – Mioceno Medio, (Klohn, 1960) o Abanico (Aguirre, 1960): Según se indica en la carta geológica Rancagua – San Vicente de Tagua Tagua (Godoy et al, 2009), corresponde a una secuencia volcánica de ambiente continental y extensión cortical (Nyström et al., 1993; Charrier et al., 2002; Kay et al., 2005), de composición andesítica a basáltica, con intercalaciones de piroclastos y rocas sedimentarias continentales. Además, se presentan lavas y tobas soldadas con areniscas conglomerádicas y limolitas lacustres. Se encuentra subyaciendo a la Formación Farellones por contacto tectónico asociado a la Falla Los Arrayanes (Godoy et al, 2009), y sobre las formaciones Las Chilcas, Lo Valle y Estratos del Cordón Los Ratones (Klohn, 1960; Sellés y Gana, 2001), y más hacia el sur de la región tiene contacto con las formaciones Baños del Flaco, Río Damas y Leñas-Espinoza; este tipo de contacto resultaría ser de tipo discordante por erosión (Farías, 2007), hacia el este se halla

sobre el basamento del Mesozoico, por medio del sistema de fallas El Diablo-Las Leñas-El Fierro (Piquer et al, 2010).

Formación Navidad, Mioceno (Cecioni, 1980): Corresponde a una sucesión uniforme de areniscas, de distintos tipos de granulometría variables de grano medio a grueso, pobremente cementadas que se deshacen fácilmente en superficie, de modo que se forman cárcavas de erosión. Esta formación también se halla en el costado oriental de la Cordillera de la Costa. Sobreyace a rocas graníticas paleozoicas, a la Formación Lo Prado por contacto muy discordante y a la Formación Veta Negra (Barremiano-Aptiano), de forma levemente discordante (Sellés y Gana, 2001).

Formación Farellones, Mioceno Superior (Aguirre, 1960): Tiene un contacto discordante con los pliegues apretados de la subyacente Formación Abanico y posee un espesor aproximado de 1.450 (m). Lo conforman rocas volcánicas de ambiente continental, lavas andesíticas en la base, de carácter calcoalcalino (Piquer et al, 2010), intercaladas con rocas piroclásticas en la zona media y principalmente rocas piroclásticas en el sector superior. Se diferencia de la Formación Abanico, al presentar interestratificaciones de modo subhorizontal (SERNAGEOMIN, 1983 – 1984).

Formación La Cueva, Plioceno (Brügen, 1950): Está definida en un segmento del estero El Ganso al oeste de la Estrella, como una secuencia sub-horizontal marino-continental, integrada por 50 (m) de areniscas, conglomerados y aglomerados. Se dispone sobre rocas graníticas paleozoicas, muy meteorizadas.

Formación Laguna de Tagua Tagua, Pleistoceno Superior – Holoceno (Varela, 1976a, b): Consiste en depósitos lacustres que se hallan sobre cenizas correspondientes a las Ignimbritas de Pudahuel, de edad pleistocena, redepositadas por lahares; este contacto es del tipo discordante por erosión. En parte, presenta un nivel inferior pequeño (~2 m) de gravas y arenas y sobreyacido por una capa (~10 m) de limos y arcillas a veces carbonosos y

diatomáceos (con precipitaciones silíceas originadas por algas). En algunas partes aparecen sedimentos gruesos de mala selección de origen aluvial (Godoy et al, 2009).

Depósitos aluviales de piedemonte y quebradas, Pleistoceno – Holoceno (Godoy et al, 2009): Son depósitos clastosoportados, mal seleccionados, ubicados en las quebradas, al pie de las laderas y en cursos de agua menores. Lo conforman bloques, gravas, arenas y, en menor proporción, limos. También presentan depósitos matriz soportados de flujos de detritos en ciertas partes; o también, a veces, maicillo y bolones graníticos.

Depósitos aluviales, Pleistoceno? – Holoceno (Godoy et al, 2009): Constituyen depósitos clastosoportados, formados por arenas, limos y arcillas mal consolidadas. Éstos se observan como abanicos aluviales en las salidas de los ríos importantes de manera coalescente entre sí, como en la salida de los ríos Cachapoal, Claro y del Estero Codegua a los pies de la Cordillera Principal.

Depósitos aluviales de valle, Pleistoceno – Holoceno (Godoy et al, 2009): Éstos están compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas, estratificadas y mal consolidadas. Se posan sobre pendientes menores que las anteriores y aparecen con mayor frecuencia hacia el Oeste y Suroeste de la región. Sobre estos se pueden encontrar depósitos de piedemonte y de quebrada, además de que sobre las llanuras aluviales se formó parte del sistema fluvial actual.

Depósitos de remoción en masa, Pleistoceno? – Holoceno (Godoy et al, 2009): Son depósitos que se encuentran al pie de las laderas y siguen los cursos de los ríos, generalmente, se pueden ver escarpes con formas de media luna, que marcan el lugar del desprendimiento de roca y suelo. Estos sedimentos se componen por clastos de roca pobremente consolidados, mal seleccionados, y a veces, se puede observar que son matriz soportados. A modo de ejemplo, el río Cachapoal fue represado hacia el este por uno de los brazos de los Derrumbes de Alto Piedra Rajada, que contiene clastos de material morrénico.

Depósitos morrénicos, Pleistoceno Superior – Holoceno (Charrier et al, 1983): En casi todos los valles de la zona oriental de la región se encuentran depósitos de morrenas frontales (terminales), laterales y de fondo, que corresponden a sedimentos diamícticos depositados en el fondo de los valles glaciales de la zona Este y Sureste del sector de Rancagua – San Vicente de Tagua Tagua (Godoy et al, 2009).

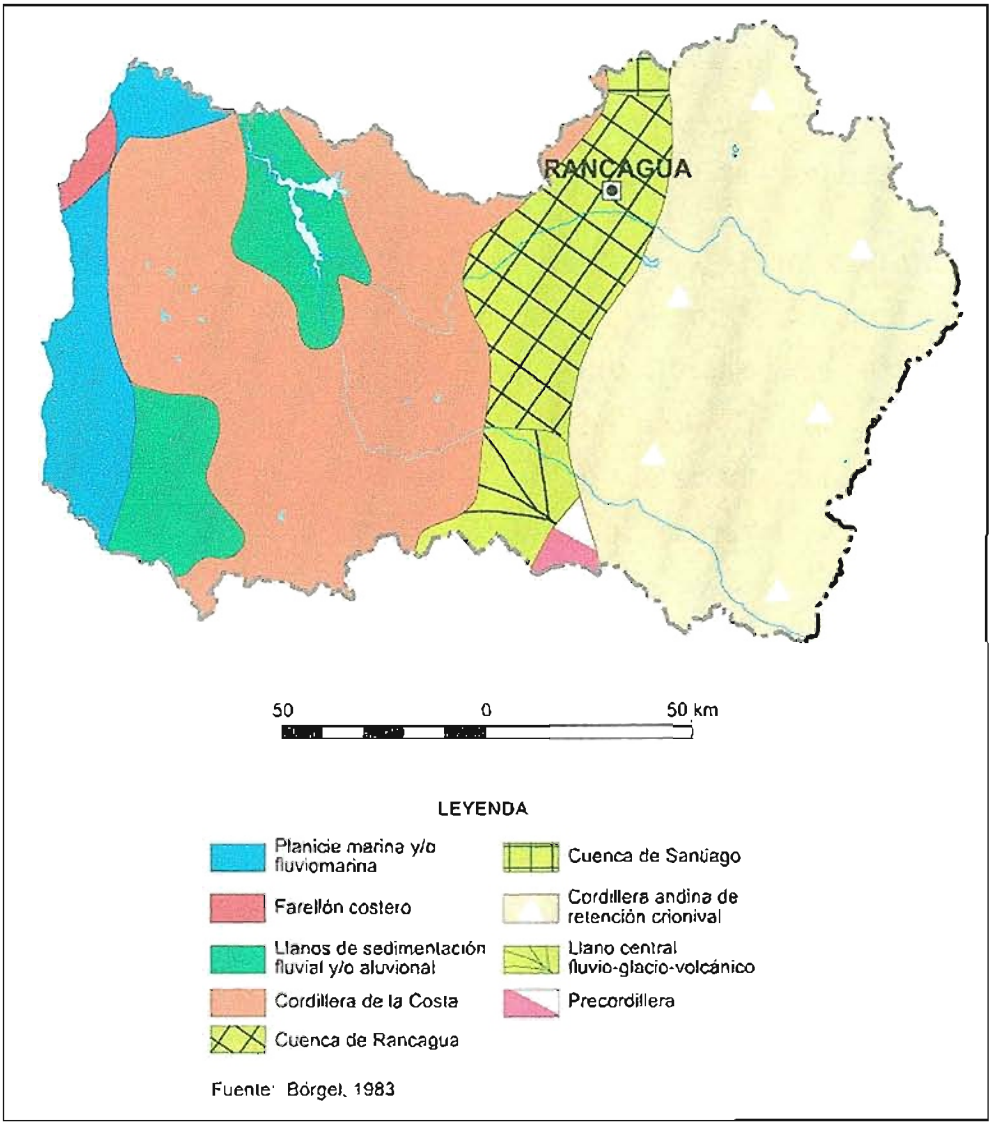
Depósitos coluviales, Holoceno (Godoy et al, 2009): Corresponden a clastos angulosos (poco transporte) desplazados sobre quebradas y bajo acantilados formados en rocas de la Fm. Abanico, poseen una mala selección, con escasa matriz centimétrica.

Depósitos fluviales, Holoceno (Aguirre, 1960; Klohn, 1960): Formados por la actividad reciente y/o actual de los sistemas fluviales. Compuestos por bolones y gravas muy redondeados, no consolidados, clastos aportados y de baja esfericidad. Se observan huellas de paleoríos en actuales terrazas fluviales alrededor de los ríos actuales. Pocas veces se logra observar depósitos con estratificación plana – horizontal o cruzada (Godoy et al, 2009).

2.2.2 Geología Local

El sector de estudio se encuentra íntegramente en la unidad morfoestructural de la Cordillera de la Costa, la que corresponde a una continua cadena de cerros, de dirección norte-sur, paralela y antepuesta al margen litoral, con rasgos superficiales erosionados y de altura reducida (400-600 m.s.n.m.) por lo que se trata de un modelado maduro, es decir, el flanco occidental o litoral presenta mayor desgaste lo que sumado a depósitos sedimentarios marinos-continentales contribuyen a resaltar la morfología llana del borde litoral. En tanto el flanco oriental transversal es claramente asimétrico. En específico, la localidad de Población se ubica en la unidad geomorfológica "llanos de sedimentación fluvial y/o aluvional" en el extremo suroeste de la desembocadura del río Tinguiririca en el lago Rapel, también descritos como parte de la serranía intermedia.

Figura 2.10: Unidades Geomorfológicas, Región de O'Higgins. (Börgel, 1983)



Se reconocen en el área (Lámina 2.6) tanto afloramientos rocosos de edades paleozoicas como depósitos no consolidados cuaternarios (Hauser, 1990).

Las unidades de roca corresponden a:

Pz : Basamento cristalino metamórfico (Paleozoico superior). Escobar et al 1977. Formado por una gran variedad de rocas metamórficas como esquistos, filitas, metareniscas y pizarras, las que contienen frecuentes vetas cuarcíferas. En este sector presentan fuerte alteración, formando un suelo

residual terroso, suelto, poroso, muy plástico cuando está húmedo y muy resistente cuando está seco. En contacto con cuerpos graníticos, las rocas metamórficas presentan superficies blandas, arenosas y de alto contenido micáceo. En el sector de estudio se reconocen sus afloramientos al noroeste del embalse de Alcones y en la localidad de Población.

Pzg : Batolito de la costa (Paleozoico superior). Escobar et al 1977. Conforma principalmente el flanco oriental de la Cordillera de la Costa, principalmente con afloramientos de granodioritas, monzonitas, dioritas y monzodioritas. Se reconocen en el sector de Cerros de Trinidad al norte del Estero Las Cadenas y hacia el sur en el cordón de La Bandera, donde estas rocas están fuertemente alteradas dando origen a un suelo maicilloso con textura arenosa.

Pzga : Depósitos consolidados de maicillo (Paleozoico superior) Escobar et al 1977. Corresponde a una potente cobertura consolidada de suelo residual friable de textura arenosa de composición monomíctica de origen metamórfico. Estos materiales se reconocen al suroeste de la localidad de Población, así como también en el flanco nororiente de los Cerros de Trinidad.

KTlv : Formación Lo Valle (Cretácico Superior) Thomas 1958. Corresponde a una potente secuencia volcanoclástica de orientación norte –sur que constituye la Serranía Intermedia, y que se encuentra conformada principalmente por sedimentitas terrígenas finas: lutitas y limolitas con niveles volcanoclásticos de brechas y tobas con abundantes intercalaciones de coladas andesíticas, riolíticas y dacíticas.

KTg : Intrusivos graníticos (Cretácico Superior) Thomas 1958. Compuesto por cuerpos intrusivos tipo granodioritas de grano medio, dioritas y pórfidos tonalíticos. En superficie se observan frescas, inalteradas, de relieves escarpados con escaso suelo residual y cobertura vegetal. En sectores de quebradas de fuerte pendiente presentan fragmentación superficial más intensa.

Estos afloramientos integran las cadenas de cerros que se anteponen a la Cordillera de la Costa.

250.000 255.000 260.000 265.000 270.000

6.200.000 6.195.000 6.190.000 6.185.000 6.180.000 6.175.000

34°20'0"S 34°25'0"S

71°45'0"W 71°40'0"W 71°35'0"W 71°30'0"W

Ruta I-80-G Ruta I-660 Ruta I-680 Ruta I-20 Ruta H-16 Ruta I-310 Ruta-90 Ruta H-30

Pzga Pzg Qfi Pz Qfal Qg Qfa Qc Qfal

Estero de La Trinidad Estero Las Cadenas Canal Población

Marchigüe Población Peralillo

Cordillera de Marchigüe Cordillera de Peralillo

Símbolo	Unidad	Tipo	Descripción
	Pz	Basamento cristalino metamórfico	Esquistos, filitas y pizarras con intercalaciones de metareniscas
	Pzg; Pzga	Batolito de la Costa	Granodioritas, monzonitas y monzodioritas/suelo residual consolidado de maicillo
	Qc	Depósitos cineríticos	Cenizas volcánicas de alto contenido de sílice y escasos fragmentos líticos
	Qfa	Depósitos fluviales en cauces actuales	Principalmente gravas y gravas arenosas
	Qfal	Depósitos fluvio-aluvionales	Bolones, ripios y arenas con frecuentes niveles arcillosos
	Qfi	Relleno fluvial de valles interserranos	Arenas y gravas arenosas tipo 'maicillo'
	Qg	Depósitos gravitacionales	Fragmentos rocosos heterocomposicionales

SIMBOLOGÍA BASE

Asentamientos
Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado

Caminos
- Pavimentado
- Sin pavimentar

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal
- Área urbana

Unidad Análisis
- Límite SS Cca.

Hidrografía
Drenaje
- Estero
- Canal

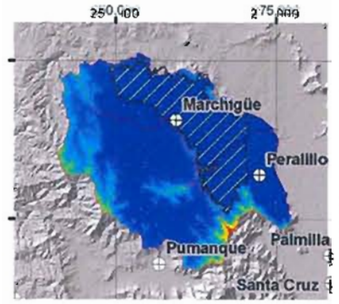
Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Unidad
- Pz
- Pzg; Pzga
- Qc
- Qfa
- Qfal
- Qfi
- Qg

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 900
- Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

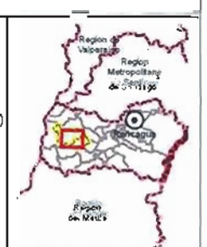
TEMA: Geología de detalle del Área de Estudio

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina2.6_Geología de detalle.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular (esc 1:50.000) Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía SIGP (2013)



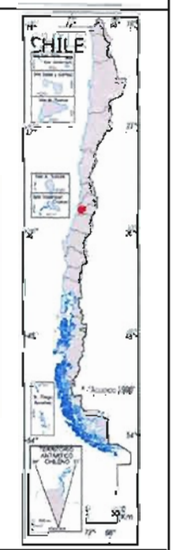


LÁMINA / VERS.	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
2.6 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000

En tanto, las unidades sedimentarias no consolidadas y consolidados presentes en el área corresponden a:

Qfal : Depósitos fluvio aluvional (Pleistoceno superior) Hauser 1990. Formado por alternancias de bolones, ripios, gravas y gravas arenosas, con frecuentes niveles arcillosos y compacidad moderada a alta, de escasa permeabilidad. Se asocian a depositaciones por crecidas torrenciales que superan los cauces establecidos invadiendo extenso terrenos llanos colindantes, por tanto, se reconocen también en estos materiales de acarreo frecuentes niveles vinculados a flujos torrenciales de gran energía compuestos de bolones y bloques (fragmentos de rocas de 0,5 (m) a 1,5 (m) de diámetro). Los materiales sueltos, glaciales y posglaciales provinieron en su mayoría de relieves andinos sometidos a severa degradación. En los alrededores de la confluencia de los ríos Cachapoal y Tinguiririca cerca del lago Rapel, esta unidad se encuentra cubierta por extensos mantos cineríticos. En el área de estudio se encuentra de forma adyacente a los depósitos actuales de los esteros Las Cadenas y Peralillo. Estos materiales eventualmente presentan gran similitud con depósitos fluviales en cuanto a su litología y geomorfología.

Qcn : Depósitos cineríticos (Pleistoceno-Holoceno) Hauser 1990. Corresponde a una secuencia alternante de limos y arenas, de mala selección con presencia de estratos de ceniza volcánica en disposición subhorizontal. Estos materiales fueron aerotransportados desde centros volcánicos con actividad explosiva de gran magnitud como la Caldera de Laguna del Diamante del complejo volcánico San José de Maipo (450 a 60 mil años AP) y redepositados por acción hídrica, por tanto, cubren de forma extensa la región junto con los flujos piroclásticos incandescentes formados durante el mismo evento eruptivo, los cuales bajaron inundando los valles tanto del sistema fluvial del río Maipo, como del Cachapoal-Tinguiririca (Nuñez et al, 1994). Estos depósitos conforman superficies llanas con suaves colinas. Hacia el cordón andino presentan mayor espesor mientras que al oeste disminuyen gradualmente su potencia y presencia

de fracciones granulares, aunque por otra parte se observan con mayor consolidación. Se extiende desde cerro Hospital por el norte a hasta Peralillo por el Sur, en una franja de aproximadamente 5 (km) de ancho. En el área de Población y alrededores se reconocen en capas de aspecto tobáceo, duras, compactas e impermeables, subhorizontales, formadas por cenizas conteniendo pumicita con esquirlas vítreas y escasos fragmentos líticos, donde presentan espesores variables desde 0,5 hasta 9 (m), por ejemplo, en el yacimiento de Mina Las Pataguas. En los campos de la zona, se reconoce la formación de una costra tobácea de estos depósitos, denominada localmente como "tosca", donde puede observarse que el nivel superficial cinerítico se encuentra cementado por litificación asociado al carácter puzolánico de las cenizas.

Qfi : Depósitos de relleno fluvial de valles interserranos (Holoceno-Actual) Hauser 1990. Formado por arenas y gravas arenosas tipo "maicillo". Se asocian al transporte hídrico desde macizos graníticos superficialmente meteorizados por tanto de origen fluvial. El material está compuesto principalmente por arenas cuarcíferas, medianas a gruesas, con feldespato y mica subordinados, que se disponen en bancos alternados con delgados lentes limo-arcillosos. En superficie presentan escasa compacidad y son muy permeables. Los procesos de intemperización y meteorización de macizos graníticos comienzan a partir del Holoceno, en tanto la sedimentación continúa hasta la actualidad asociada a eventos pluviales de gran intensidad. Estos depósitos se reconocen en la parte Oeste del área de estudio, con escasa compacidad y muy permeables.

Qg : Depósitos gravitacionales (Reciente-Actual) Hauser 1990. Conformado por una mezcla de fragmentos rocosos heterocomposicionales, angulosos, resistentes, de muy mala selección, sueltos, de escasa matriz fina limo-arcillosa. La fracción fina predomina en las partes distales, mientras que en las apicales los bloques de roca son abundantes. Estos materiales incluyen también depósitos detríticos de escombros de falda, coluvios, conos de deyección, etc. Se asocian al relleno de quebradas de alta pendiente (25-35°). En

el área de estudio se encuentran bordeando por el norte el valle del estero Las Cadenas, mientras que por el sur cubren el flanco nororiente de los cerros del cordón La Bandera.

Qfa : Depósitos fluviales en cauces actuales (Reciente-Actual) Hauser 1990. Corresponde principalmente a gravas, gravas arenosas y arenas, con bancos arenosos. Las gravas están constituidas por rodados volcanoclásticos, aspecto fresco, resistente, muy pulido y bien redondeado. En general, presentan muy buena selección, salvo algunos depósitos que manifiestan la acción de crecidas de alta energía. En el sector de estudio, se reconocen estos depósitos en los cauces de los esteros Las Cadenas y Peralillo, donde se observan en superficie no consolidadas, con escasa matriz y alta permeabilidad, la que decrece a medida que aumenta la profundidad y la ocurrencia de sedimentos más finos.

2.3 Calidad del Agua del Acuífero en el Área de Estudio

A partir de los trabajos de Hauser (1990) y DGA -SITAC (1998), se caracterizaron las aguas presentes en el área de estudio considerando la Norma Chilena Oficial de Agua para Riego NCh-1.333.

En general, las aguas superficiales muestran una buena calidad, con pocos valores de los parámetros por sobre los recomendados para riego. En el caso de las aguas subterráneas, se tiene una mejor calidad ya que se presentan sólo puntuales excepciones fuera de los rangos. No obstante, los contenidos de nitratos determinados en aguas de pozos con acuíferos someros o norias cercanas a pozos negros o donde se registran fugas de alcantarillado, son en general superiores a los permitidos por la norma NCh-409, esto debido a eventuales vertidos de aguas residuales o servidas que han alcanzado tanto cauces superficiales como acuíferos.

En síntesis, de acuerdo con la información analizada en ambos estudios (Hauser, 1990; DGA-SITAC, 1998), las aguas tanto superficiales como subterráneas de la

Región de O'Higgins son aptas para uso en riego sin restricciones y sin ningún tipo de tratamiento. También lo serían para uso potable, previo tratamiento, por ejemplo, cloración.

Por otra parte, se detectan algunas anomalías en los contenidos de manganeso y fierro asociados a niveles de arcillas orgánicas con circulación restringida en ambientes ácidos favoreciendo la disolución de minerales de fierro contenidos en las rocas del basamento, así como también se ha detectado aguas con alta concentración de sílice entre 20 y 40 (ppm), proveniente de depósitos de ceniza pumicítica (Qc en Figura 2.10) las cuales generan incrustaciones en procesos industriales asociados al uso de calderas con turbinas de vapor.

Respecto a los siguientes elementos que pueden analizarse desde el punto de vista del agua de riego (NCh-1.333) o agua potable (NCh-409), los estudios anteriores permitieron determinar que:

- pH de las aguas, este se encontraría en torno a 6 y 7,5 cumpliendo la norma NCh-1.333 en general.

- Total de sólidos disueltos, los altos valores registrados por Hauser (1990) en los pozos de Población y Pataguas (cercanos a 600 ppm) se encuentran bajo la norma de riego y destacan por encontrarse desarrollados en los depósitos cineríticos y/o alternancias arcillosas con niveles estáticos superficiales. Por otra parte, estos registros al ser menores que 1000 ppm permiten clasificar a estas aguas como de tipo "dulce".

- Dureza, en general, Hauser (1990) considera que la mayoría de las aguas analizadas son blandas, es decir, presentaron contenidos de $CaCO_3$ de 50 – 150 (ppm). Sin embargo, se detectó una anomalía en el pozo de Pataguas con un valor registrado de 398 (ppm), por lo que se trataría de un agua "dura" que puede generar incrustaciones que no son removibles por ebullición.

- Calcio, la mayoría de las aguas presentaron valores menores a los 200 ppm, límite permitido para agua de bebida.

- Magnesio, casi todas las aguas presentaron valores en el rango de 15 y 80 ppm, los que favorecen el crecimiento humano, mientras que la máxima permitida es de 125 (ppm) (NCh-409), concentraciones superiores a este último valor producen efecto laxante.

- Hierro, las normas toleran un máximo de 0,3 (ppm) y la mayoría de las aguas se encontraron bajo lo establecido, salvo algunas excepciones en sectores con macizos rocosos con intensa meteorización.

- Manganeso, la Norma Chilena Oficial Nº 409 establece en 0,1 (ppm) la concentración máxima para este elemento, en general, la mayoría de las aguas analizadas presentaron valores bajo el límite.

- Sodio y Potasio, las aguas de pozo indicaron valores de 2 y 5 ppm de potasio, mientras que las concentraciones de sodio no superaron el rango de 15-35 (ppm), muy por debajo de 100 (ppm), que provocaría afecciones cardiacas o respiratorias en las personas.

- Cloruros, la NCH-1.333 acepta concentraciones menores a 200 (mg/l), la casi totalidad de las aguas de pozo presentaron valores muy menores a este límite.

- Sulfatos, la norma para agua de riego exige como máximo 250 (ppm), las aguas analizadas presentaron valores muy por debajo del permitido.

- Nitratos, se detectaron numerosas norias con registros de 140 y 350 (ppm), que afectan el consumo de agua potable pero no así para el uso de riego, y que fueron atribuibles a contaminación orgánica derivada de la proximidad de norias y pozos sépticos localizados en terrenos permeables.

Adicionalmente, se han realizado muestreos de aguas subterráneas para caracterizar la calidad de estas para consumo humano mediante la Norma Chilena Oficial Nº 409, la que en comparación y de manera evidente es más estricta que las disposiciones exigidas por la NCh-1.333 para riego. Estos estudios fueron ejecutados en los siguientes sectores:

- **Trinidad y Los Maitenes.** Se analizó una muestra proveniente de un sondaje del sistema de agua potable del pueblo de Marchigüe identificado como "Sondaje A.P. Marchigüe". Esta cumplió totalmente con la NCh-409, además, si se considera los requisitos de pH y coliformes fecales dispuestos por la NCh-1.333, se aprecia que el valor obtenido de pH a 21,3ºC es de 7,73 mientras que la presencia de coliformes fecales fue menor a 2,0 (ESSEL S.A., 1997).

- **Peralillo y Población**. En el estudio realizado por ESSEL S.A. el año 2001, se indica que todas las aguas subterráneas donde se emplazan las respectivas plantas de agua potable cumplen con los valores recomendados por la Norma Chilena Oficial Nº 409 de agua potable, además, anexan los informes técnicos de laboratorio. Lo anterior permitiría inferir que para uso de riego estas aguas serían aceptables.

- **Santa Ana**. Se analizaron dos muestras provenientes de dos sondajes identificados como "S-5" y "S-8". Se indica que ambas muestras presentaron parámetros bajo la norma NCh-409 de acuerdo al informe técnico emitido por Laboratorio Hidrolab (ESSEL S.A., 2002). Por tanto, el agua subterránea debería cumplir cabalmente con las exigencias de la NCh-1.333.

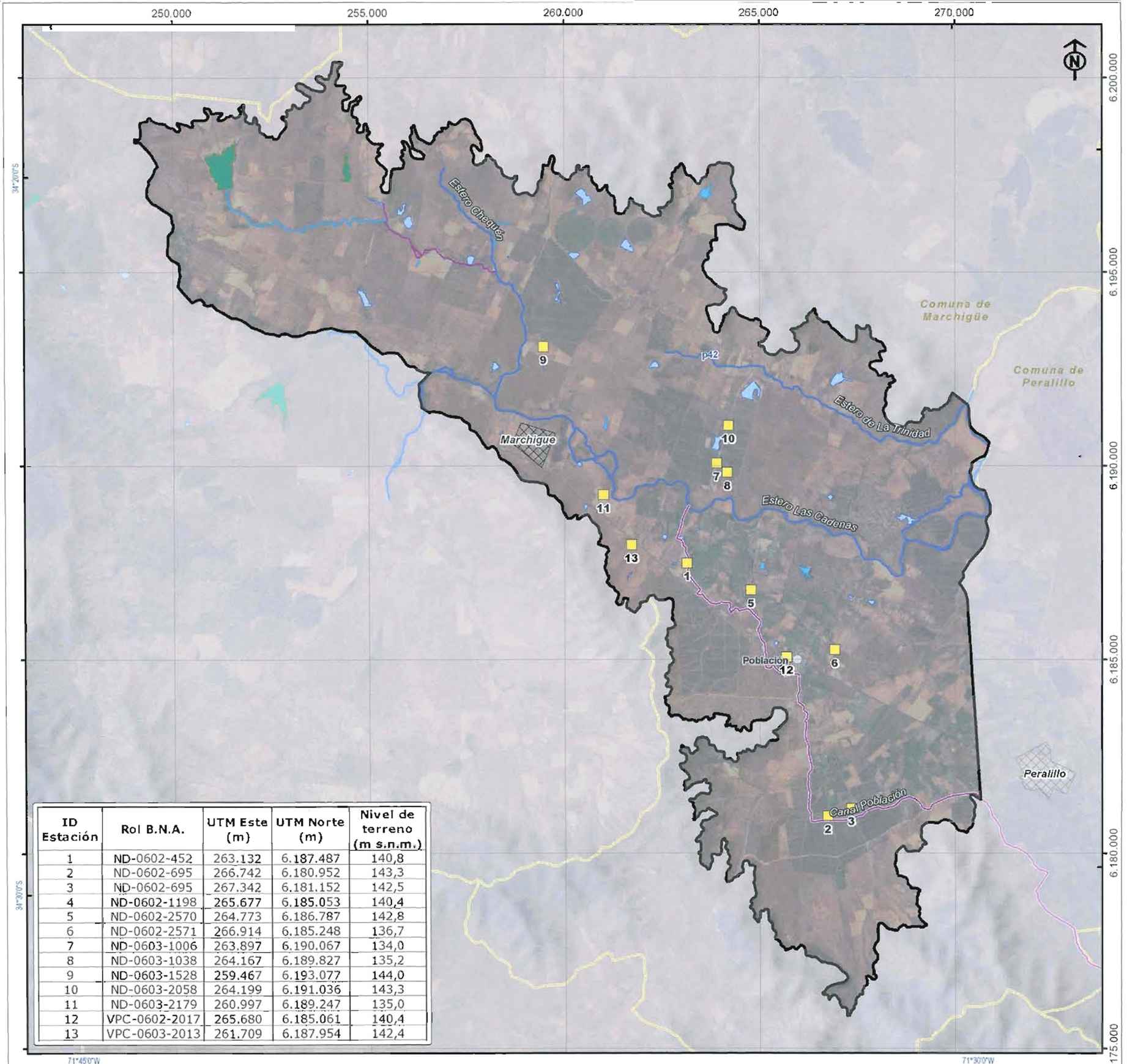
  - De los expedientes de pozos registrados en la DGA se pudieron obtener algunos resultados de muestras de calidad de agua, para pozos ubicados en las cercanías de la localidad de Marchigüe. En total se encontraron 13 muestras las que se muestran ubicadas geográficamente en la Lámina 2.7.

- En la Tabla 2.10 se puede observar un resumen de la información recopilada de calidad de agua por expediente correspondiente al derecho constituido. De la tabla se puede señalar que los valores destacados en color verde corresponden a parámetros que se encuentran fuera de la norma de calidad de agua para riego (contenida en la norma NCh 1333. Of78), en concreto se puede señalar para puntualmente dos pozos que sobrepasaron el parámetro de sodio porcentual.

- Por su parte, los parámetros destacados en color rojo corresponden a valores que superaron la norma calidad de agua potable (NCh 409/1), de estos resultados es importante señalar que para el parámetro manganeso existen 5 pozos que se encuentran fuera de norma.

- Respecto de los sectores propuestos como opciones de pilotos (ver Lámina 3.1), sólo existe información previa de calidad de aguas subterráneas para las opciones de pozo de infiltración San Joaquín (columna 11 en la Tabla 2.10) y Santa Ana (columna 1 en la Tabla 2.10). Además, se cuenta con el informe de calidad de aguas subterráneas a una muestra obtenida, para efectos del presente estudio, en un pozo ubicado en Santa Ana.

- Los respectivos informes de calidad de agua se pueden examinar en el Capítulo 4.5.



ID Estación	Rol B.N.A.	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)
1	ND-0602-452	263.132	6.187.487	140,8
2	ND-0602-695	266.742	6.180.952	143,3
3	ND-0602-695	267.342	6.181.152	142,5
4	ND-0602-1198	265.677	6.185.053	140,4
5	ND-0602-2570	264.773	6.186.787	142,8
6	ND-0602-2571	266.914	6.185.248	136,7
7	ND-0603-1006	263.897	6.190.067	134,0
8	ND-0603-1038	264.167	6.189.827	135,2
9	ND-0603-1528	259.467	6.193.077	144,0
10	ND-0603-2058	264.199	6.191.036	143,3
11	ND-0603-2179	260.997	6.189.247	135,0
12	VPC-0602-2017	265.680	6.185.061	140,4
13	VPC-0603-2013	261.709	6.187.954	142,4

SIMBOLOGÍA BASE

Hidrografía

Drenaje
- Estero
- Quebrada Intermitente
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

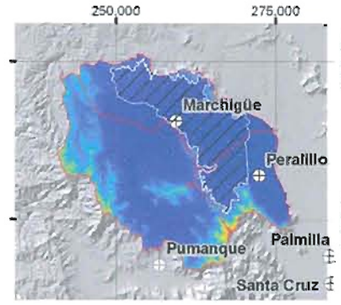
Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Tipo de Análisis
- Muestreo calidad agua

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 900
- Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

Gobierno de Chile

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Muestreo de Calidad de Agua en Expedientes DGA de habilitación

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina2.7_Muestreo de Calidad de Agua en Expedientes DGA de habilitación de pozos

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

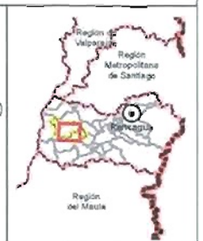


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
2.7 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000

Tabla 2.10: Registro Calidad de Agua de Pozos. (Fuente: Información Recopilada de los Expedientes de Pozos DGA)

	Unidad de Medida	Límite Norma Agua Riego	Límite Norma Agua Potable	Nombre de Registro DGA												
ID Estación				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Rol S.N.A.				ND-0602-452	ND-0602-695	ND-0602-695	ND-0602-1198	ND-0602-2570	ND-0602-2571	ND-0603-1006	ND-0603-1038	ND-0603-1528	ND-0603-2058	ND-0603-2179	VPC-0602-2017	VPC-0603-2013
					Pozo 3	Pozo 2										
Laboratorio				Carlos Latorre	Hidrolab	Hidrolab	Carlos Latorre	Carlos Latorre	Carlos Latorre	Carlos Latorre	Carlos Latorre	Carlos Latorre	Carlos Latorre	ANAM	Carlos Latorre	Carlos Latorre
Fecha				17-12-90	27-09-94	08-01-96	16-08-98	15-10-03	08-10-03	19-04-98	07-08-98	29-01-98	24-03-99	05-02-04	12-01-02	07-08-98
PARÁMETRO FISICO																
Temperatura	°C			-	19,6	22,1	18	20	20	25	18	25	26	-	25	18
Turbiedad (NTU)	NTU		5	9	1,63	2,7	*	0,63	0,37	0,8	1	1	1	-	**	-
Color (PT-Co)	Pt-Co		20	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	-	0	1
Olor			Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	-	Inodoro	Inodoro
Sabor			Insípido	Insípido	Insípido	Insípido	Insípido	Insípido	Insípido	Insípido	Insípido	Insípido	Insípido	-	Insípido	Insípido
PARÁMETRO QUÍMICO																
Amoníaco	mg/l	-	0,25	0,04	0,1	0,05	0,11	0,085	0,017	0,09	0,7	0,05	0,05	-	0,001	0,07
Arsénico	mg/l	0,1	0,05	0	0,005	0,009	0,001	0,0015	0,0015	0,001	0,001	0,001	0,001	0,026	0,0005	0,001
Cadmio	mg/l	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,001	0,004	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,004	0,001
Cianuro Libre	mg/l	0,2	0,2	0	-	0,05	0,005	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,08	0,005	0,005
Cloruro	mg/l	200	250	26,1	12	14,5	38,6	21,7	34,5	43,9	39,5	50,6	55,6	57	68,1	39,5
Cobre	mg/l	0,2	1	0,16	0,01	0,01	0,009	0,013	0,013	0,001	0,003	0,019	0,006	0,07	0,049	0,003
Compuestos fenólicos	mg/l	-	0,002	0	-	0,002	0,001	0,0004	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,001	-	0,002	0,001
Cobalto	mg/l	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-
Cromo hexavalente	mg/l	-	0,05	0	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,015	0,006	0,002	0,002	-	0,01	0,006
Cromo	mg/l	0,1	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-
Detergentes	mg/l	-	0,5	0	0,01	0,01	0,005	0,012	0,012	0,005	0,005	0,005	0,001	-	0,005	0,005
Fluor	mg/l	-	1,5	0,4	-	0,3	0,04	0,246	0,241	0,02	0,02	0,26	0,009	0,29	0,32	0,02
Hierro Total	mg/l	5	0,3	0,19	0,09	0,23	0,047	0,07	0,019	0,076	0,117	0,124	0,08	1,4	0,155	0,117
Magnesio	mg/l	-	125	15,9	9	4,9	14,8	11,4	13,5	3,7	8,6	7,9	12,4	13,9	8,3	8,6
Manganeso	mg/l	0,2	0,1	0	0,02	0,02	0,003	0,01	0,01	0,149	0,114	0,203	0,137	0,07	0,015	0,114
Mercurio	mg/l	0,001	0,001	0	-	0,001	0,001	0,0004	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0008	0,0004	0,001
Molibdeno	mg/l	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-
Níquel	mg/l	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	-	-
Nitratos	mg/l	-	10	1,3	3,4	0,5	1,4	6,2	2,1	1,7	2,7	1	0,7	-	2,8	2,7
Nitritos	mg/l	-	1	0,005	0,01	0,01	0,007	0,003	0,001	0,002	0,005	0,003	0,014	-	0,001	0,005
Plomo	mg/l	-	0,05	0	0,01	0,01	0,001	0,017	0,017	0,001	0,001	0,002	0,001	0,11	0,0017	0,001
Residuos sólidos filtrables	mg/l	500	1000	380	181	215	245	230	310	345	280	290	290	238	385	280
Selenio	mg/l	0,02	0,01	0	-	0,001	0,001	0,0003	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007	0,0003	0,001
Sulfatos	mg/l	250	250	64	5,2	15,8	39,4	29,8	57,8	12,5	5	18,6	9	10	43	5
Zinc	mg/l	2	5	0,2	0,01	0,07	0,006	0,315	0,007	0,002	0,007	0,008	0,0012	0,18	0,007	0,007
Conductancia	mhos/cm/25 0° C	750	-	530	252	270	360	331	428	470	380	380	410	458	540	380
Color aparente	Pt-Co	-	-	0	10	10	0	0	0	0	5	5	5		0	5
PH Saturación Larson		-	-	7,6	7,3	7,39	8,1	8,2	8	7	8,2	7	8	7,8	6,5	8,2
Residuo Total	mg/l	-	-	380	-	-	11,1	230	310	345	10	11,7	11	-	385	10
Residuo Disuelto	mg/l	500	-	380	-	-	245	230	310	345	285	295	295	-	385	285
Residuo Fijo	mg/l	-	-	345	-	-	245	210	270	315	280	290	290	-	315	280

	Unidad de Medida	Límite Norma Agua Riego	Límite Norma Agua Potable	Nombre de Registro DGA												
ID Estación				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Rol B.N.A.				ND-0602-452	ND-0602-695	ND-0602-695	ND-0602-1198	ND-0602-2570	ND-0602-2571	ND-0603-1006	ND-0603-1038	ND-0603-1528	ND-0603-2058	ND-0603-2179	VPC-0602-2017	VPC-0603-2013
					Pozo 3	Pozo 2										
Residuo Volátil	mg/l	-	-	35	-	-	215	20	40	30	245	270	245	-	70	245
Residuo Suspendido	mg/l	-	-	0	-	-	30	0	0	0	35	20	45	-	0	35
Alcalinidad total	mg/l	-	-	140	-	-	133,1	100	115	46,8	172,6	71,4	85,2	-	102,5	172,6
Alcalinidad fenoftaleina	mg/l	-	-	0	-	-	0	0	0	0	0	12,5	0	-	0	0
Aluminio	mg/l	-	-	0,04	-	-	0,03	0,1	0,1	0,03	0,03	0,05	0,07	-	0,008	0,03
Anhídrido carbónico	mg/l	-	-	7,6	-	-	12	15	14	5	19,7	0	11	-	12	19,7
Fosfatos	mg/l	-	-	0,2	-	-	0,63	0,07	0,019	0,63	0,505	0,38	0,75	-	0,865	0,505
Nitrógeno Total	mg/l	-	-	-	-	-	-	0,84	0,976	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno albúmicas	mg/l	-	-	0,05	-	-	0,07	0,152	0,031	0,09	0,09	0,09	0,07	-	0,045	0,09
Potasio	mg/l	-	-	2,7	-	-	0,54	4,23	4,97	0,24	0,29	0,6	0,34	-	0,85	0,29
Silicatos	mg/l	-	-	23,8	-	-	15,5	65,6	68,4	19	7,5	14	5,5	-	5	7,5
Sodio	mg/l	-	10	37,3	-	-	15,5	15,08	22,13	25,5	2,3	20,4	20,9	35	17	2,3
Boro	mg/l	0,75	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	0,1	0,05	0,04	-	-
Litio	mg/l	2,5	-	-	-	-	-	-	-	0,007	-	0,007	0,003	0,01	-	-
Sodio Pocentual	%	35	-	-	-	-	-	-	-	46,6	-	15,3	30,7	46,6	-	-
Molibdeno	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	0,009	-	0,003	0,001	0,01	-	-
Coliformes Totales	NMP/100ml	1000	-	-	2	13	4,5	49	14	-	-	49	-	-	4,5	-
Coliformes fecales	NMP/100ml	1000	-	-	2	2	1,8	1,8	1,8	-	-	1,8	-	2	1,8	-

* aparece 2 y 0.7

** aparece 0,5 y 1,57

2.4 Hidrogeología

2.4.1 Hidrogeología Local

A partir del trabajo de Hauser (1990) se reconoce que los depósitos no consolidados son los de mayor importancia hidrogeológica en el área de estudio, en cuanto a regular la presencia, cantidad, calidad y disponibilidad del agua subterránea en los acuíferos que desarrolla. Esta información que fue generada en 1985 se validó mediante la recopilación de datos proveniente de 420 pozos que totalizaron 23.255 (m) perforados, en el área comprendida entre Rancagua y Curicó, desde la Depresión Intermedia hasta la Cordillera de la Costa. Este catastro de pozos consideró información relevante de identificación y ubicación geográfica, dueño, fecha de construcción, profundidad total y ubicación de los acuíferos (resultados de las pruebas de bombeo, hidroquímica, método de explotación, surgencia, profundidad del nivel estático, caudal específico, total de sólidos disueltos, etc.).

A partir de lo anterior, se reconocen tres unidades hidrogeológicas principales en el área de estudio (Lámina 2.8):

A. Depósitos porosos de importancia hidrogeológica alta – media.

Qfa (depósitos fluviales en cauces actuales): corresponden a acuíferos libres – semiconfinados continuos, de extensión semiregional. Los niveles estáticos que presenta están influenciados por el nivel de agua de ríos o esteros. Presenta buenos espesores y buenos rendimientos constantes. El método de explotación registrado corresponde a norias, pozos y drenes. Las aguas de esta unidad son sensibles a la contaminación orgánica. De atractivo hidrogeológico alto. En el catastro se reconoce el pozo Nº 19 en este tipo de depósito.

Qfal (depósitos fluvio aluvionales): corresponden a acuíferos libres – semiconfinados, de extensión local y con presencia de acuíferos francamente

confinados en sectores puntuales por bancos arcillosos y/o depósitos lahári cos sobreyacentes. Los niveles estáticos que presenta pueden llegar a profundidades superiores a los 100 (m). El método de explotación registrado corresponde a pozos y norias. Aguas de buena calidad química. De atractivo hidrogeológico alto – medio. En el catastro de pozos se reconocen en este tipo de depósito los siguientes: O11, O3, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 31, 33,34,35, 36, 37, 38,39, 40 y 46.

B. Depósitos o rocas fracturadas de importancia hidrogeológica relativa media – baja.

Qg (depósitos gravitacionales): conforma zonas acuíferas de extensión local, con porosidad y permeabilidad local favorables, con desarrollo de vertientes en torno a lechos de esteros y quebradas. El método de explotación corresponde principalmente a norias. Sus aguas son sensibles a la contaminación orgánica. De atractivo hidrogeológico medio – bajo. En el catastro de pozo no se reconoce ningún registro para este tipo de depósito.

Qfi (relleno fluvial de valles interserranos): presenta acuíferos libres de extensión semiregional. De niveles estáticos cercanos a la superficie menores a los 20 (m) de profundidad. Se reconoce una eficiente recarga durante la estación pluvial con buenos rendimientos locales. El método de explotación registrado corresponde a punteras y norias. Las aguas presentan puntualmente altos contenidos de hierro. De atractivo hidrogeológico medio. En el catastro de pozos se reconocen los siguientes registros para este tipo de depósito: O1, O2 y 18.

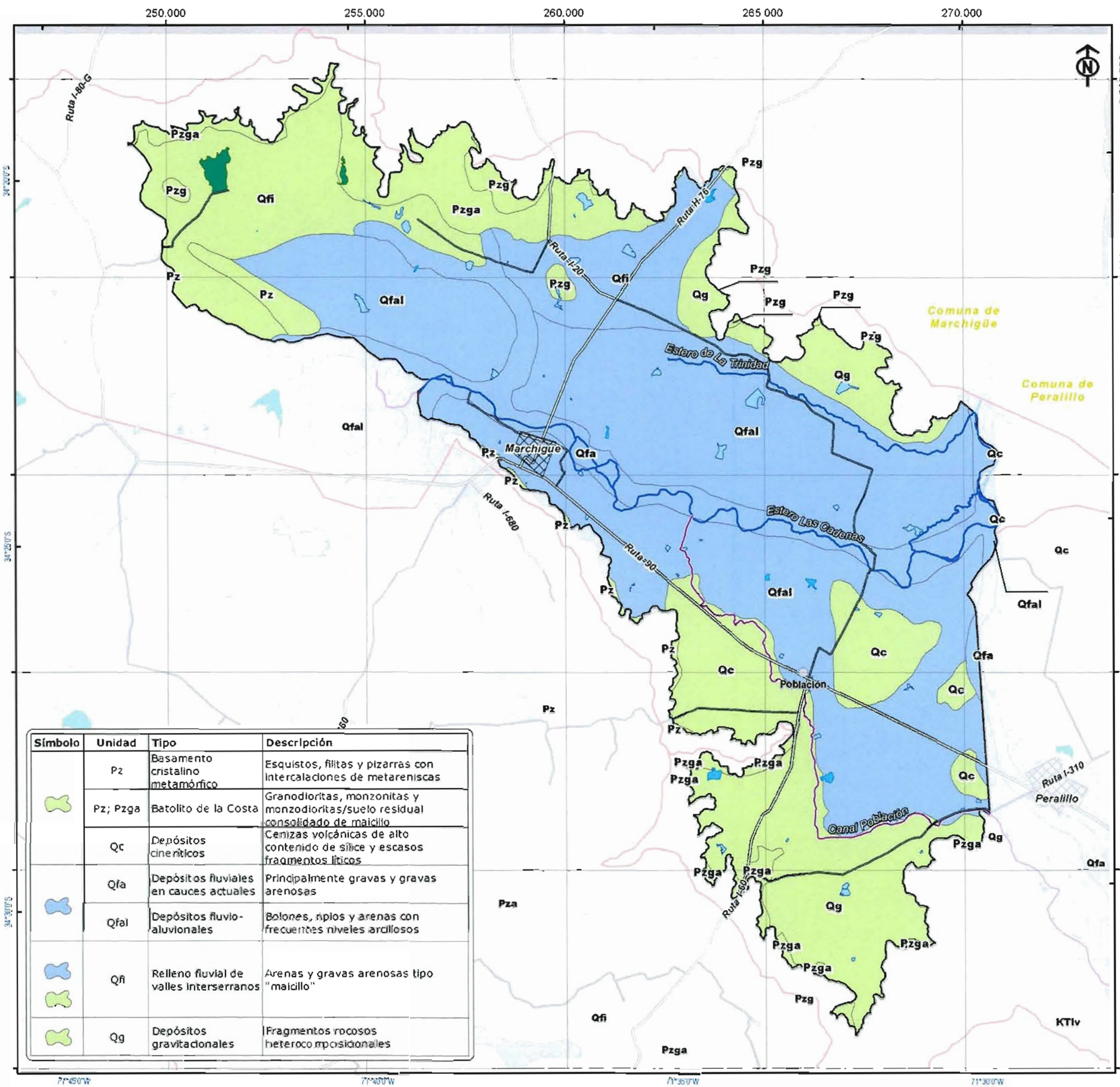
Qc (depósitos cineríticos): son acuíferos semiconfinados a confinados de desarrollo irregular pero de gran extensión. De niveles estáticos próximos a la superficie menores a 20 (m) de profundidad. El método de explotación corresponde a norias y pozos. Sus aguas son de buena calidad química. De atractivo hidrogeológico medio – alto. En el catastro de pozo se reconocen los siguientes registros para este tipo de depósito 21, 22, 29 y 30.

C. Rocas porosas o fracturadas de importancia hidrogeológica relativa baja – nula.

KTg (intrusivos graníticos): estos cuerpos menores no conforman zonas acuíferas, a excepción de algunos sectores donde pudieran presentar intensa fracturación y/o alteración permitiendo el desarrollo de permeabilidad muy anisotrópica y decreciente con la profundidad. No aplica ningún método de explotación ya que no hay acuífero. De atractivo hidrogeológico nulo – bajo en zonas de permeabilidad secundaria por fracturamiento y/o alteración. En el catastro de pozo no se reconoce ningún registro para este tipo de depósito.

KTlv (formación Lo Valle): esta secuencia permite zonas acuíferas conexas al incremento localizado de fracturamiento y/o alteración, presenta permeabilidades muy anisotrópicas y decrecientes con la profundidad. Sin acuíferos para explotar. De nulo – bajo atractivo hidrogeológico en zonas con permeabilidad secundaria y/o fracturamiento. En el catastro de pozos se reconoce solo un registro cercano a este depósito, el que corresponde al Nº 52.

Pz/Pzg/Pzga (basamento cristalino metamórfico; batolito de la costa; depósitos de maicillo consolidado): presenta zonas acuíferas conexas solo a alteración superficial, en torno a cauces de esteros y/o quebradas. El método de explotación corresponde a norias. Sus aguas presentan anomalías de hierro y son sensibles a la contaminación orgánica. De atractivo hidrogeológico nulo – bajo en roca inalterada, en cambio, medio en zonas de suelo residual. En el catastro de pozos no se reconoce ningún registro de perforación existente en estos tipos de depósitos.



Símbolo	Unidad	Tipo	Descripción
	Pz	Basamento cristalino metamórfico	Esquistos, filitas y pizarras con intercalaciones de metareniscas
	Pz; Pzga	Batolito de la Costa	Granodioritas, monzonitas y monzodioritas/suelo residual consolidado de maicillo
	Qc	Depósitos cineríticos	Cenizas volcánicas de alto contenido de sílice y escasos fragmentos líticos
	Qfa	Depósitos fluviales en cauces actuales	Principalmente gravas y gravas arenosas
	Qfal	Depósitos fluvio-aluvionales	Bolones, ripios y arenas con frecuentes niveles arcillosos
	Qfi	Relleno fluvial de valles interserranos	Arenas y gravas arenosas tipo "maicillo"
	Qg	Depósitos gravitacionales	Fragmentos rocosos heterocomposicionales

SIMBOLOGÍA BASE

Asentamientos Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal
- Área urbana

Hidrografía Drenaje
- Estero
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

Caminos
- Pavimentado
- Sin pavimentar

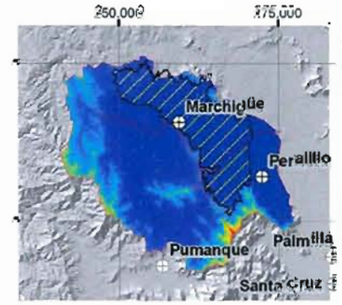
Unidad Análisis
- Límite SS Cca.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Importancia Hidrogeológica
- Alta-media
- Media-Baja

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
Máx. : 900
Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Hidrogeología del Área de Estudio

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina2.8_Hidrogeología del área de estudio.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 Sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000 Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

LÁMINA / VERS	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
2.8 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000

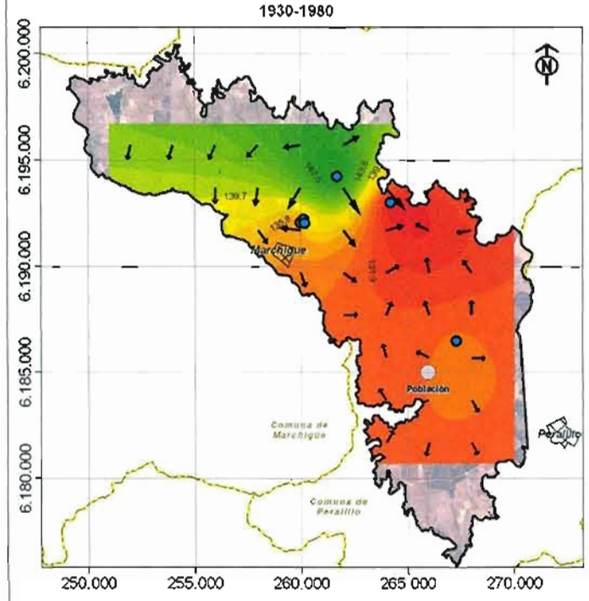
2.4.2 Pozos en la Zona de Estudio

Se ha recopilado información de pozos en el área de estudio desde diversas fuentes. En el trabajo de Hauser (1990) existen dos registros de pozos catastrados en el área de estudio (BC-29 y BB-22), mientras que desde informes hidrogeológicos para diversas localidades de la zona, más información de pozos obtenida de los expedientes de derechos de agua constituidos en la zona, los que suman aproximadamente 100 pozos.

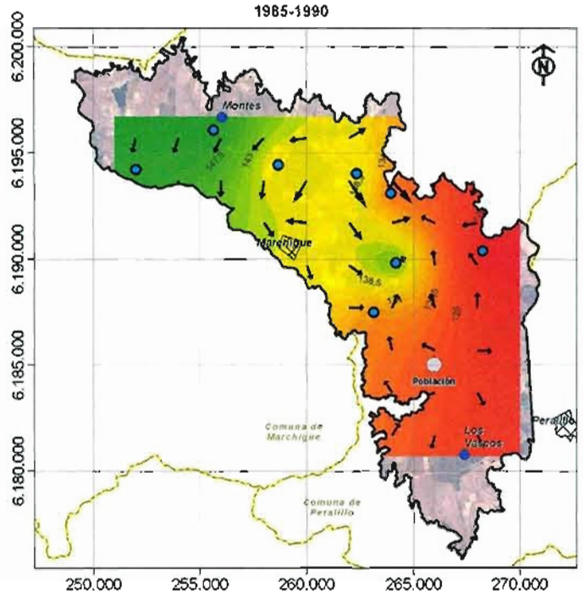
En la Lámina 2.9 se presenta la evolución histórica que han presentado las equipotenciales esta lámina al igual que la Lámina 2.10 fueron elaboradas con los registros pertenecientes a la DGA.

La Lámina 2.10 presenta la evolución histórica de las profundidades freáticas en esta se puede ver claramente la tendencia a la profundización que han sufrido los niveles freáticos por causas antrópicas. Cabe señalar que la mayor parte cantidad de pozos construidos se encuentra entre los años 1995 y 2005 por lo siguiente es de donde más se obtiene información para elaborar estas láminas.

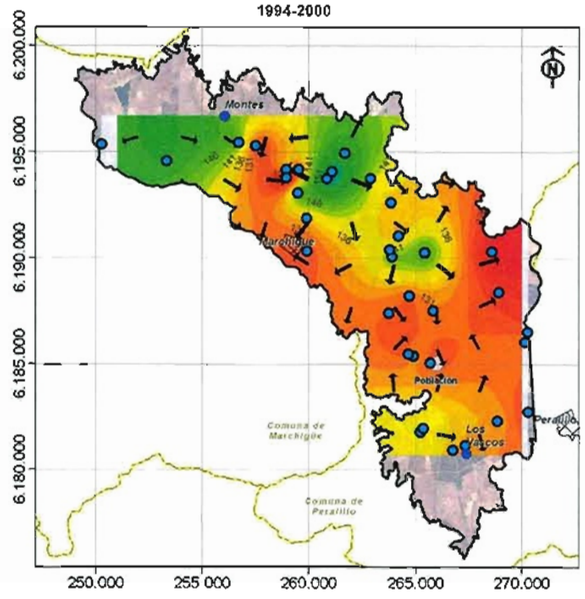
1930-1980



1985-1990



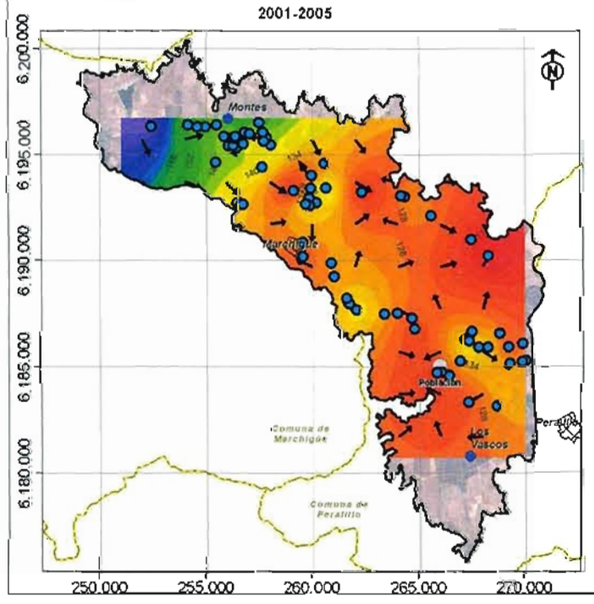
1994-2000



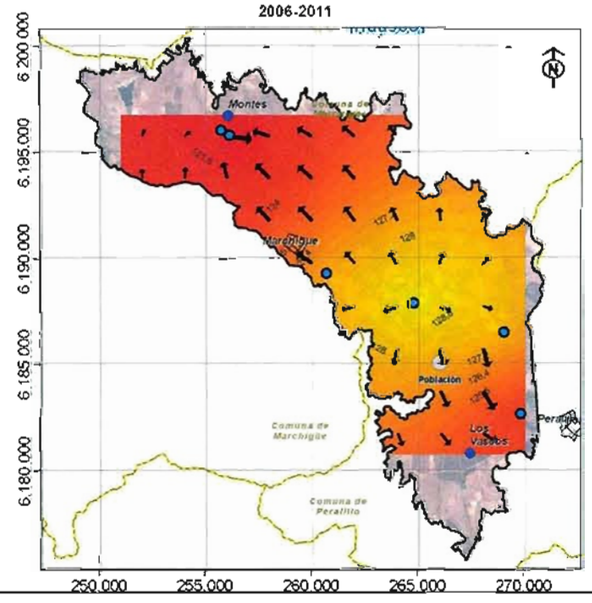
Nivel (m)

179
176
173
170
167
164
161
158
155
152
149
146
143
140
137
134
131
128
125
122
119
116
113
110

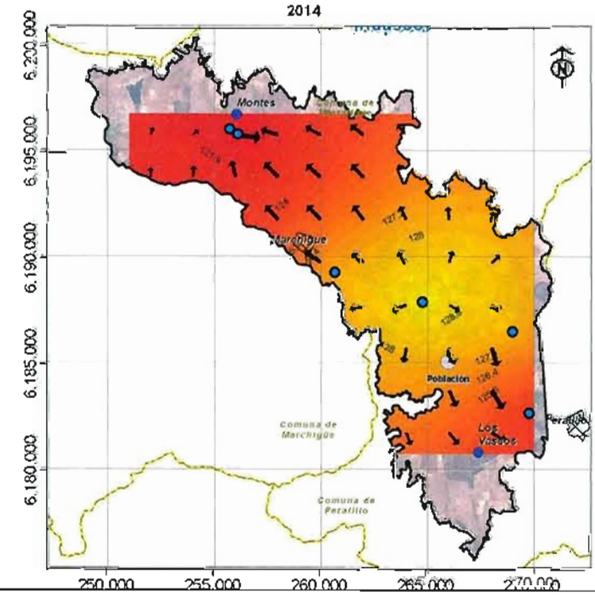
2001-2005



2006-2011



2014



SIMBOLOGÍA BASE

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

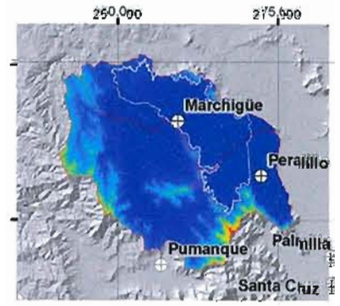
Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuifero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Datos disponibles
- Dirección del flujo
- Pozo

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 900
- Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

Gobierno de Chile

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

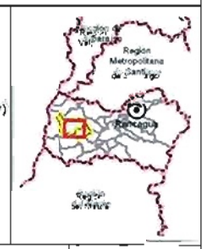
TEMA: Evolución equipotencial

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina2.9_Evolución equipotencial.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000, Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)



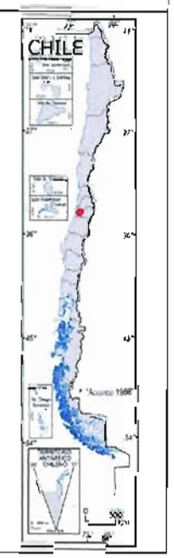
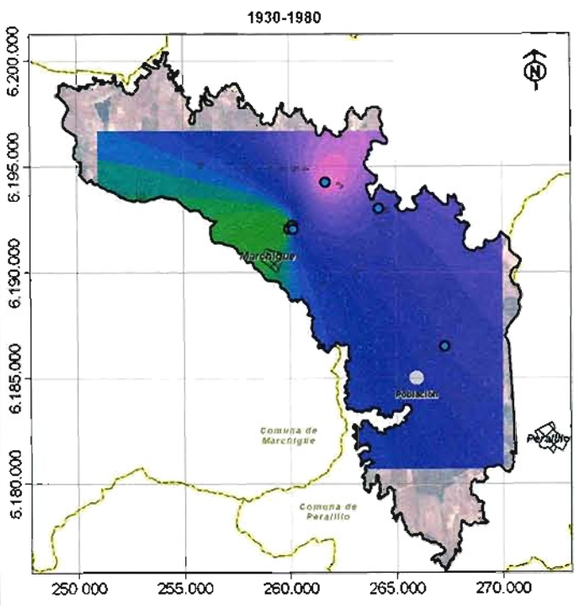
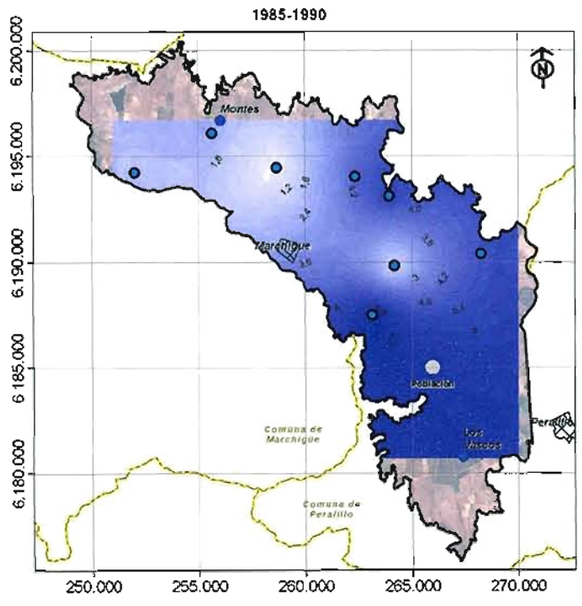


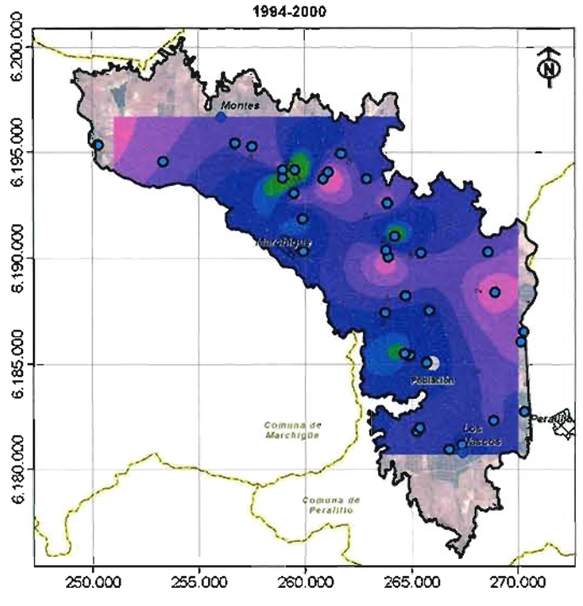
LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
2.9 / 0	D.C.Z.	M.M.	DIC. 2014

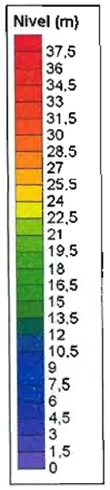
0 2.500 5.000 10.000 m

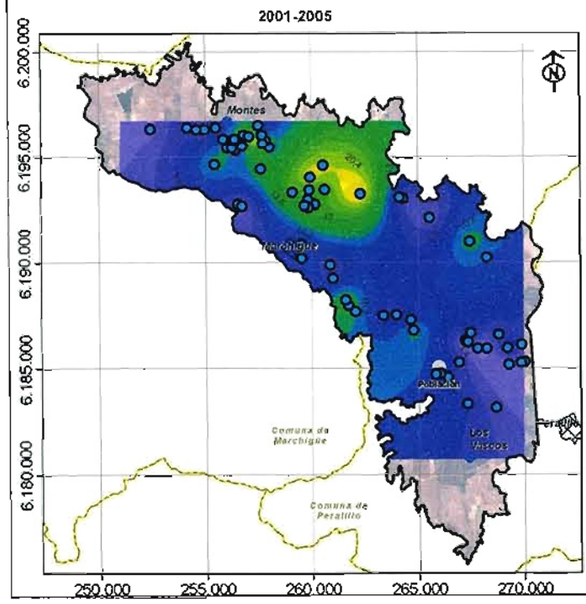
ESCALA 1:300.000

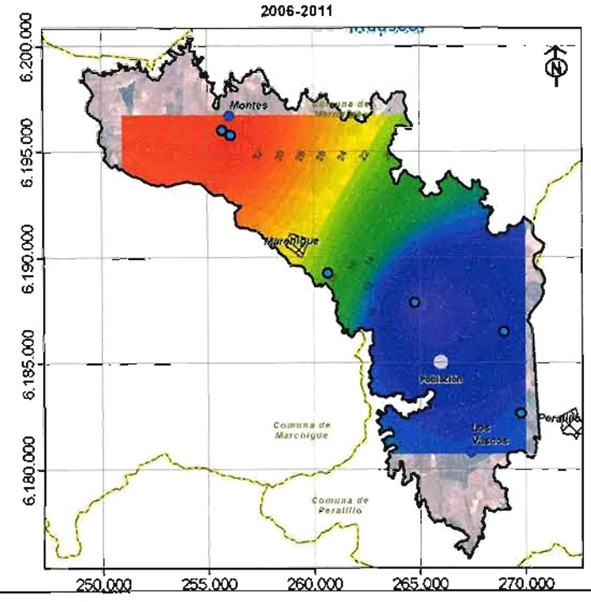


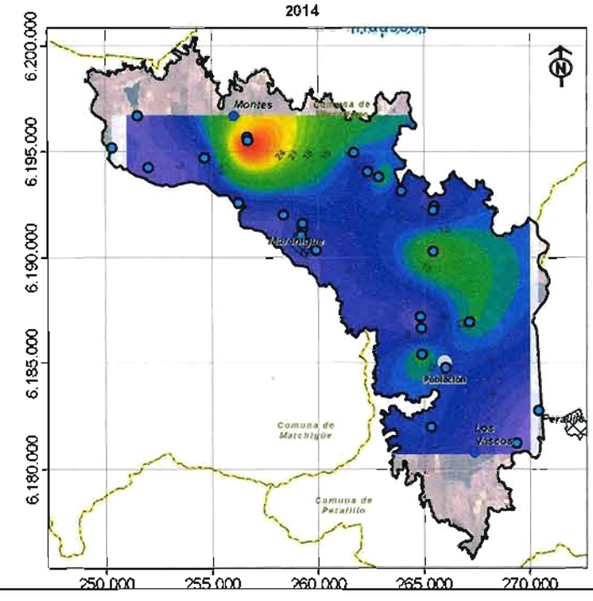












SIMBOLOGÍA BASE

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

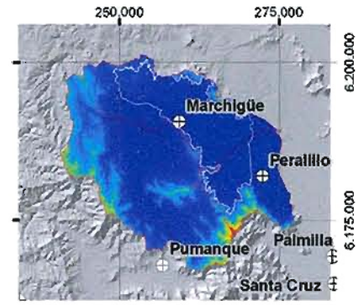
Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Datos disponibles
- Pozo

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 900
- Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Evolución profundidas estáticas

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina2.10_Evolución profundidades estáticas.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

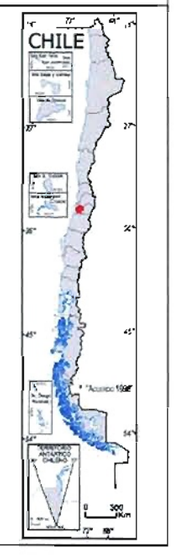


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
2.10 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 2.500 5.000 10.000 m

ESCALA 1:300.000

2.4.3 Estratigrafía en Habilitación de Pozos (Registro DGA)

A continuación se presenta la información estratigráfica en perfiles obtenida de los registros DGA.

En la Lámina 2.11 se muestran los cuatro perfiles estratigráficos preparados con la información obtenida en la DGA. En total se empleó la información de la estratigrafía atravesada por 35 pozos.

Los perfiles 1 y 4 (Lámina 2.12 y Lámina 2.15) representan transversal y longitudinalmente el sector Oeste de la zona del estudio; el perfil 2 (Lámina 2.13) representa transversalmente el sector central de la zona del estudio y el perfil 3 (Lámina 2.14) el sector Este de la zona del estudio.

En el Perfil 1 se reconoce la roca fundamental en 3 de los 8 pozos, a profundidades que varían desde los 51 (m) y los 80 (m) de profundidad. El número de acuíferos varían de 1 a 6, con potencia acumulada entre 7 (m) y 42 (m).

El perfil 2 muestra 3 pozos, dos de los cuales atraviesan 1 acuífero confinado (5 (m) y 13 (m) de potencia), mientras que el tercero atraviesa 9 acuíferos con una potencia total de 45 (m).

El perfil 3 muestra 6 pozos, que atraviesan entre 1 y 4 acuíferos, con potencias acumuladas entre 11 (m) y 48 (m).

En efecto, se reconocen de uno a cuatro estratos acuíferos formados por arena; ocasionalmente se han detectado estratos compuestos de grava (entre profundidades de 47 (m) y 49 (m) en Población, y entre 131 (m) y 146 (m) en San Joaquín).

Los acuíferos reconocidos se encuentran en general intercalados por estratos donde predominan las arcillas, lo que impediría la opción de emplear balsas de

infiltración para recargar los acuíferos. Se concluye que el sector Este (Población – Peralillo) no es apto para el desarrollo de PPRAA mediante balsas de infiltración, básicamente por la presencia de los depósitos cineríticos existentes.

De los resultados estratigráficos y de sondaje del Pozo DGA Matadero Marchigue, se detectó el basamento rocoso a una profundidad de 137 (m). Se cuenta, además, con información de perfiles geofísicos desarrollados en el sector (DGA, 2005).

En estos sectores pertenecientes a los dominios de las Serranías Intermedias los niveles estáticos tienden a encontrarse muy próximos a la superficie, entre los 2 (m) y 5 (m), dado que los materiales más finos, del tipo arenas y arcillas, generan un ambiente de circulación más restringido.

250.000 255.000 260.000 265.000 270.000

6.200.000 6.195.000 6.190.000 6.185.000 6.180.000 6.175.000

34°30'0"S

71°45'0"W 71°30'0"W

Estero Casquis

Estero de La Trinidad

Estero Las Cadenas

Canal Población

Marchigüe

Población

Peralillo

Comuna de Marchigüe

Comuna de Peralillo

Perfil	Nombre	Inicio			Término			Desnivel (m)	Longitud (m)
		UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)		
1	A-B	255.531	6.198.284	208,4	256.565	6.192.426	140,0	68,4	5.949,0
2	C-D	270.719	6.189.060	125,0	264.883	6.179.331	185,7	60,7	11.345,9
3	E-F	266.861	6.193.663	203,9	260.661	6.188.649	157,7	46,2	7.973,8
4	G-H	254.019	6.196.660	173,9	258.179	6.194.901	147,0	26,9	4.517,3

SIMBOLOGÍA BASE

Hidrografía

Drenaje
- Estero
- Quebrada Intermitente
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal

Poblado

Área urbana

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

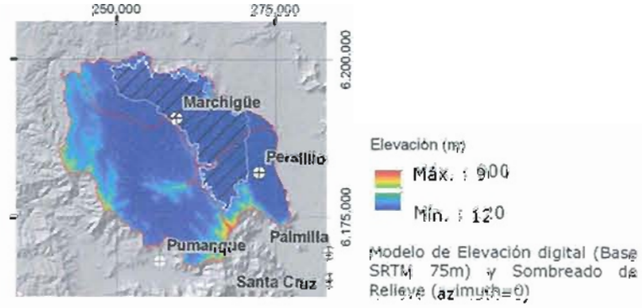
Curva de nivel (m s.n.m.)
- Índice
- Secundaria

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Tipo de Análisis
- Vértice Perfil
- Perfil estratigráfico
- Pozo referencia

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Ubicación de perfiles estratigráficos

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina2.11_Ubicación de perfiles estratigráficos.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

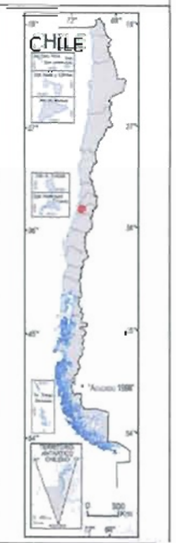


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
2.11 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

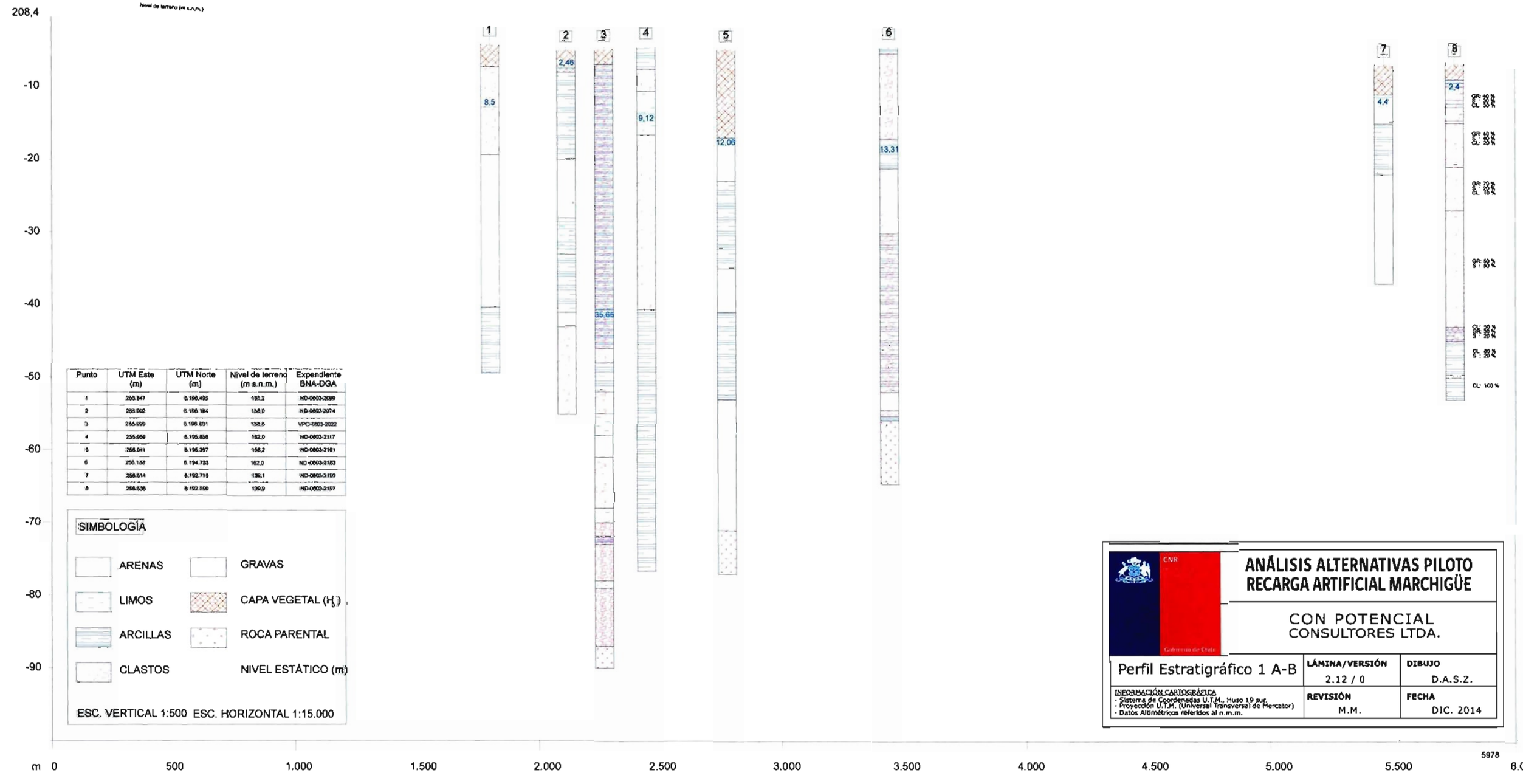
0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000

NE
Inicio Punto A
Este (m) 255.531
Norte (m) 6.198.284
Cota (m) 208,4

Cruce Perfil G-H
Punto 5'
Este (m) 255.963
Norte (m) 6.195.838
Cota (m) 161,8

SW
Término Punto B
Este (m) 256.565
Norte (m) 6.192.426
Cota (m) 140



Punto	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)	Expediente BNA-DGA
1	255.847	6.198.495	185,3	ND-0803-2099
2	255.902	6.196.184	158,0	ND-0803-2074
3	255.929	6.196.031	158,5	VPC-0803-2022
4	255.959	6.195.858	162,0	ND-0803-2117
5	256.041	6.195.397	158,2	ND-0803-2101
6	256.158	6.194.733	162,0	ND-0803-2183
7	256.514	6.192.715	132,1	ND-0803-2100
8	256.535	6.192.559	139,9	ND-0803-2197

SIMBOLOGÍA

- ARENAS
- GRAVAS
- LIMOS
- CAPA VEGETAL (H_s)
- ARCILLAS
- ROCA PARENTAL
- CLASTOS
- NIVEL ESTÁTICO (m)

ESC. VERTICAL 1:500 ESC. HORIZONTAL 1:15.000

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL
CONSULTORES LTDA.

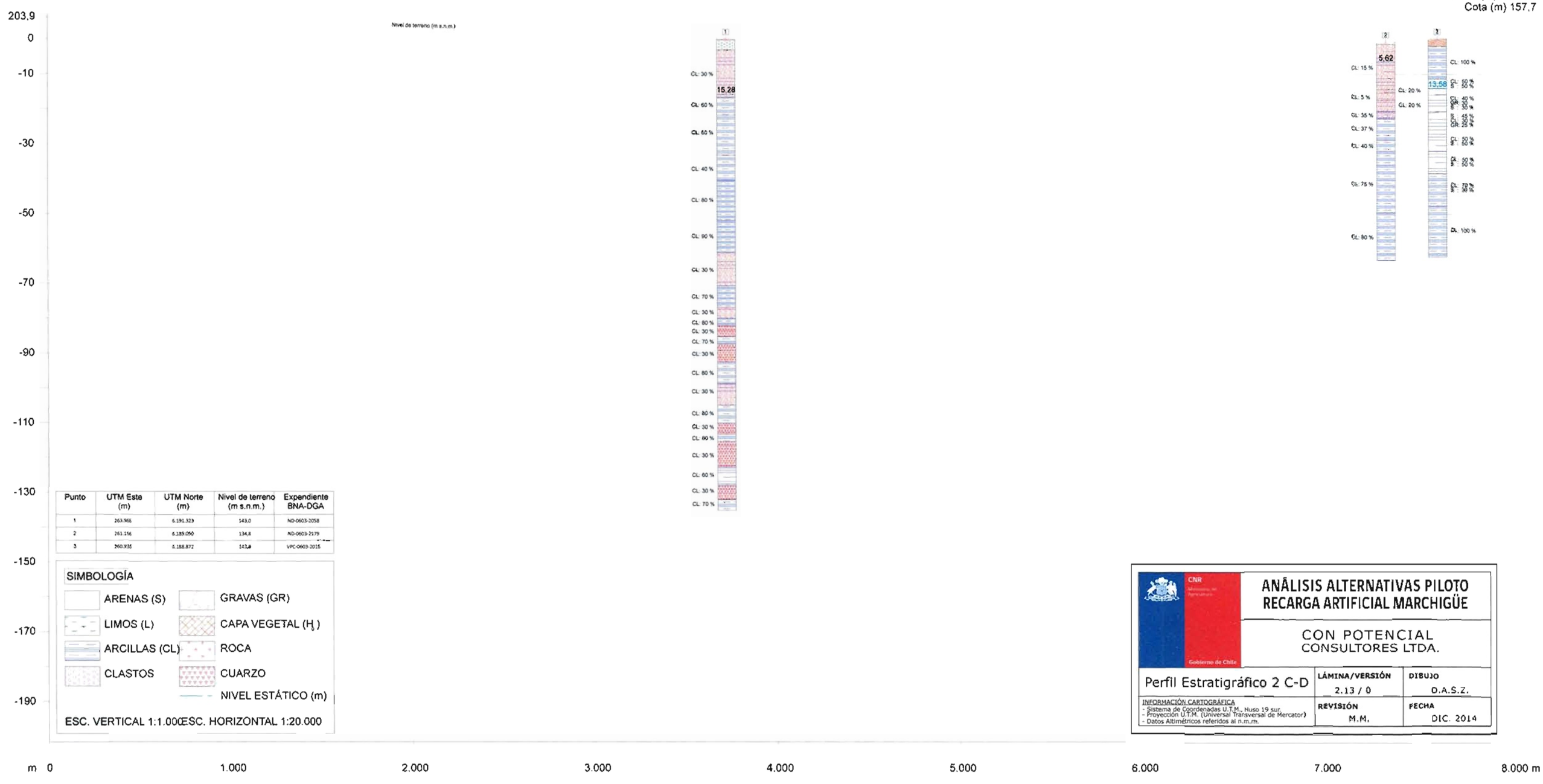
Perfil Estratigráfico 1 A-B

LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJO
2.12 / 0	D.A.S.Z.
REVISIÓN	**FECHA**
M.M.	DIC. 2014

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

NE
Inicio Punto C
Este (m) 263.966
Norte (m) 6.191.323
Cota (m) 143

SE
Término Punto D
Este (m) 260.661
Norte (m) 6.188.649
Cota (m) 157,7



Punto	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)	Expendiente BNA-DGA
1	263.966	6.191.323	143,0	ND-0603-2058
2	261.156	6.189.050	134,8	ND-0603-2179
3	260.935	6.188.872	143,8	VPC-0603-2015

SIMBOLOGÍA

- ARENAS (S)
- GRAVAS (GR)
- LIMOS (L)
- CAPA VEGETAL (H_t)
- ARCILLAS (CL)
- ROCA
- CLASTOS
- CUARZO
- NIVEL ESTÁTICO (m)

ESC. VERTICAL 1:1.000 ESC. HORIZONTAL 1:20.000

CNR
Gobierno de Chile

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL
CONSULTORES LTDA.

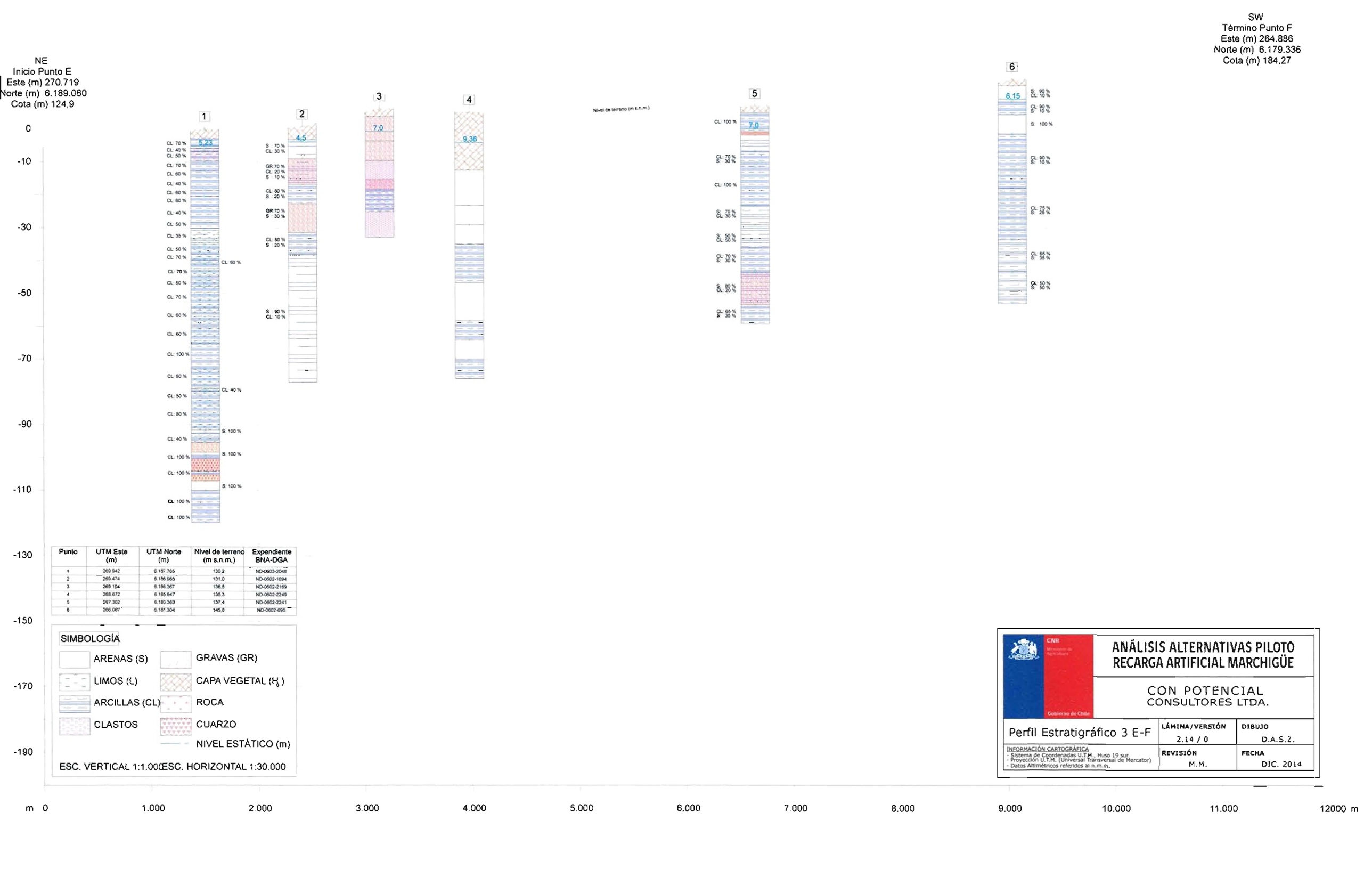
Perfil Estratigráfico 2 C-D

LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJO
2.13 / 0	D.A.S.Z.
REVISIÓN	**FECHA**
M.M.	DIC. 2014

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

NE
Inicio Punto E
Este (m) 270.719
Norte (m) 6.189.060
Cota (m) 124,9

SW
Término Punto F
Este (m) 264.886
Norte (m) 6.179.336
Cota (m) 184,27



Punto	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)	Expendiente BNA-DGA
1	269.942	6.187.765	130,2	ND-0603-2048
2	269.474	6.186.985	131,0	ND-0602-1694
3	269.104	6.186.367	136,5	ND-0602-2189
4	268.672	6.185.647	135,3	ND-0602-2249
5	267.302	6.183.363	137,4	ND-0602-2241
6	266.087	6.181.304	145,8	ND-0602-695

SIMBOLOGÍA

- ARENAS (S)
- GRAVAS (GR)
- LIMOS (L)
- CAPA VEGETAL (H_v)
- ARCILLAS (CL)
- ROCA
- CLASTOS
- CUARZO
- NIVEL ESTÁTICO (m)

ESC. VERTICAL 1:1.000 ESC. HORIZONTAL 1:30.000

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL
CONSULTORES LTDA.

Perfil Estratigráfico 3 E-F

LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJO
2.14 / 0	D.A.S.Z.
REVISIÓN	FECHA
M.M.	DIC. 2014

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

W
Inicio Punto G
Este (m) 254.216
Norte (m) 6.196.577
Cota (m) 166,8

Cruce Perfil A-B
Punto B'
Este (m) 256.196
Norte (m) 6.195.740
Cota (m) 156,3

E
Término Punto H
Este (m) 258.179
Norte (m) 6.194.901
Cota (m) 147

173,9

147

-10 -20 -30 -40 -50 -60 -70 -80 -90 -100 -110 -120 -130 -140 -150 -160 -170 -180 -190

Punto	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)	Expendiente BNA-DGA
1	254.216	6.196.577	166,6	ND-0603-2207
2	254.580	6.196.423	163,8	ND-0603-2155
3	254.954	6.196.265	164,2	ND-0603-2356
4	255.567	6.196.006	162,6	ND-0603-2074
5	255.693	6.195.953	162,1	VPC-0603-2022
6	255.852	6.195.885	162,3	ND-0603-2127
7	255.960	6.195.840	161,8	ND-0603-2183
8	256.131	6.195.767	158,0	ND-0603-2079
9	256.196	6.195.740	156,3	ND-0603-2101
10	256.325	6.195.685	154,9	VPC-063-2002
11	256.341	6.195.678	155,0	VPC-063-2002
12	256.361	6.195.670	155,5	VPC-063-2002
13	256.380	6.195.658	156,3	VPC-063-2002
14	256.549	6.195.590	156,0	ND-0603-2388
15	256.583	6.195.576	155,1	ND-0603-2385
16	256.614	6.195.563	154,6	ND-0603-2386
17	256.670	6.195.539	154,9	ND-0603-2390
18	256.737	6.195.511	155,0	ND-0603-2042
19	256.839	6.195.468	154,4	ND-0603-2387
20	257.347	6.195.253	149,1	ND-0603-2384
21	257.425	6.195.220	149,0	ND-0603-2007
22	257.532	6.195.175	149,7	VPC-0603-2029
23	257.855	6.195.038	149,2	ND-0603-2008
24	257.882	6.195.027	148,6	ND-0603-2122

SIMBOLOGÍA

- ARENAS (S)
- GRAVAS (GR)
- LIMOS (L)
- CAPA VEGETAL (H_{ζ})
- ARCILLAS (CL)
- ROCA
- CLASTOS
- CUARZO
- NIVEL ESTÁTICO (m)

ESC. VERTICAL 1:800 ESC. HORIZONTAL 1:12.500

m 500 1.000 1.500 2.000 2.500 3.000 3.500 4.000 4.500 5.000 m

CNR
Gobierno de Chile

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL
CONSULTORES LTDA.

Perfil Estratigráfico 4 G-H

LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJO
2.15 / 0	D.A.S.Z.
REVISIÓN	FECHA
M.M.	DIC. 2014

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

En los perfiles mencionados se puede apreciar la heterogeneidad de los suelos atravesados. En términos generales, el relleno sedimentario del valle de los esteros Las Cadenas, Chequén y Trinidad presenta varios estratos acuíferos de potencia muy variable, confinados e intercalados por estratos de muy baja permeabilidad, con altos porcentajes de arcilla, también de potencia muy variable.

Se revisó un antecedente muy relevante para el presente estudio (EDRA, 1997), que sobre la base de los antecedentes estratigráficos disponibles en la época, postula existencia de un acuífero semilibre, calificado como superficial, cuya potencia aumenta hacia el sector noreste (Trinidad), más un acuífero profundo y confinado, reconocido hacia el sector noreste. En dicho antecedente se enfatiza que el acuífero llamado superficial se encuentra contaminado por estratos limoarcillosos. Se señala en ese informe que en el área estudiada existen grandes extensiones cubiertas con rellenos sedimentarios cuaternarios, de granulometría bastante heterogénea, con una matriz abundante, formada por arenas finas con limos y arcillas.

Dentro del desarrollo del presente informe, se realizó un análisis estadístico de la información estratigráfica disponible, lo que permite formular un modelo que reconoce dos sectores en el área de estudio, al Este y al Oeste de la localidad de Marchigüe:

- Sector Este. Se revisaron los antecedentes estratigráficos de 19 pozos, determinándose la existencia de dos estratos acuíferos, con presencia en más del 50% de las columnas estratigráficas disponibles: un acuífero superior, entre los 20 (m) y los 60 (m) de profundidad; y un acuífero profundo, entre los 75 (m) y los 110 (m) de profundidad.
- Sector Oeste. Analizadas las columnas estratigráficas de 52 pozos, se reconocen un acuífero, con presencia en más del 50% de las captaciones estudiadas, entre los 50 (m) y los 115 (m) de profundidad. Adicionalmente

se reconocería un segundo acuífero, más profundo, pero ha sido detectado solamente por el único pozo que tiene más de 140 (m) de profundidad.

2.4.4 Transmisibilidad, Conductividad Hidráulica y Coeficiente de Almacenamiento

En el área de estudio las unidades geológicas correspondientes a Qfa (depósitos fluviales actuales) y Qfal (depósitos fluvio-aluvionales) representan acuíferos de tipo semiconfinado gradando a confinado, en los niveles más profundos de la secuencia. Ambas unidades geológicas conforman el "Acuífero A" de alta importancia en el área de estudio (Hauser, 1990). Esta unidad hidrogeológica presenta una alta complejidad, dado que cada nivel clástico constituye un acuífero distinto a veces conectado con otros, además, las capas finas de la secuencia se comportan como niveles de confinamiento. Por tanto la capacidad de esta unidad hidrogeológica para almacenar y transmitir el agua subterránea se concentra en las capas arenosas, que son de buena selección y alta permeabilidad.

También se reconocen en Qc (depósitos cineríticos impermeables) intercalaciones de gravas y arenas (permeables). Esta unidad conforma parte del "Acuífero B" de media a alta importancia hidrogeológica (Hauser, 1990). Acorde con el pozo catastrado en Población, la existencia de esta capa de ceniza permite el confinamiento del acuífero con caudal específico de 2,7 (l/s/m), por tanto como consecuencia de la granulometría muy fina de la ceniza, la unidad presenta un elevado potencial para retener agua y una baja capacidad para transmitirla.

De media a baja transmisividad son los depósitos Qfi (relleno fluvial de valles interserranos) y Qg (depósitos gravitacionales), debido a que carecen de estratificación, aunque presentan baja compacidad y buena conductividad hidráulica, el material muy suelto y su potencia reducida no son favorables como para almacenar volúmenes de agua considerables. Dado lo anterior punteras y

norias de hasta 6 (m) se recomiendan para la extracción temporal o continua, a pesar que estas generan notables variaciones en los niveles estáticos.

A partir de la información disponible de las pruebas de bombeo es posible calcular la conductividad hidráulica (K) y transmisibilidad media (T) de los acuíferos atravesados. Estos datos se resumen en la Tabla 2.11.

Los valores medios de los parámetros elásticos de los pozos analizados son:

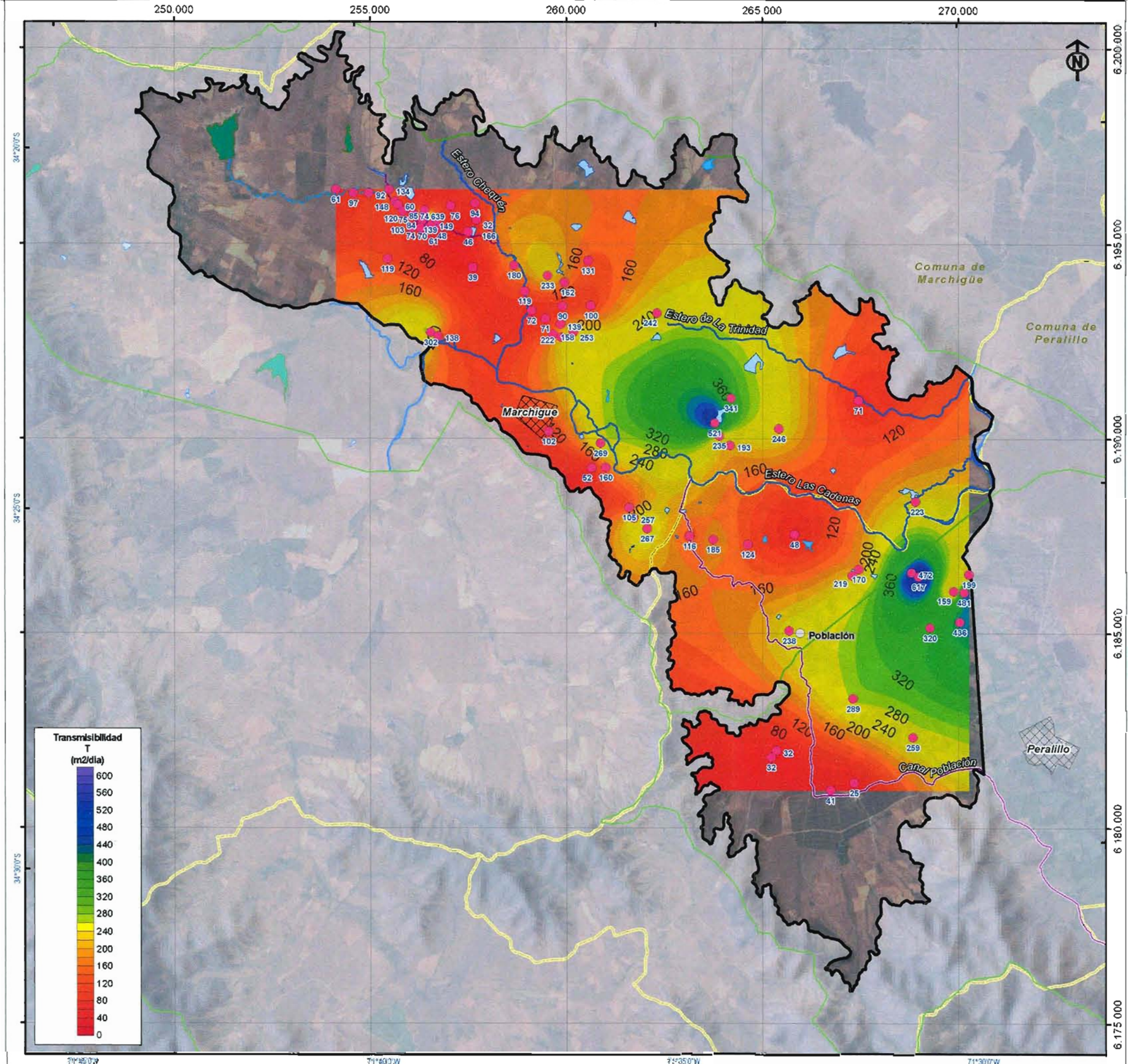
- T = 173 (m^2/día)
- K = 1,2 10^{-4} (m/s)
- GE = 1,66 (l/s/m)
- Q_{max} = 36 (l/s)
- NE = 9,7 (m)

Tabla 2.11: Parámetros Elásticos en el Área de Estudio.

		UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m.s.n.m.)	P (m)	NE (m)	NE (m.s.n.m.)	Fecha	Qmax (l/s)	GE (l/s/m)	T (m^2/día)	K (m/s)
Promedio					**79**	**9,7**			**36,2**	**1,66**	**173**	**1,2E-04**
ND-0602-1010		265.818	6.187.527	139	58,7	7,39	131,61	oct-97	16	0,47	48	
ND-0602-1198		265.678	6.185.053	141	50	8,65	132,35	ago-98	30	2,41	238	2,42E-04
ND-0602-1694	Pozo Nº4	270.145	6.186.043	130	51	2,20	127,80	abr-00	58	4,75	481	1,19E-04
ND-0602-1694	Pozo Nº3	270.270	6.186.509	128	80	4,50	123,50	mar-00	42	1,59	199	3,69E-05
ND-0602-2003	Pozo Nº2	265.224	6.181.802	152	120	5,30	146,70	abr-98	14	0,16	32	4,36E-06
ND-0602-2003	Pozo Nº1	265.352	6.181.976	151	140	4,85	146,15	ene-98	34,5	0,32	32	4,11E-06
ND-0602-2071	Pozo Nº6	269.274	6.185.137	131	60	2,60	128,40	mar-01	70	3,24	320	1,09E-04
ND-0602-2071	Pozo Nº5	270.037	6.185.277	131	60	1,60	129,40	may-01	78	4,41	436	1,15E-04
ND-0602-2076		263.738	6.187.399	136	111	3,00	133,00	dic-00	60	1,88	185	4,21E-05
ND-0602-2169		268.982	6.186.448	135	40	7,00	128,00	jul-02	10	5,71	617	2,75E-04
ND-0602-2241		267.317	6.183.313	137	68	7,00	130,00	dic-03	56	2,93	289	2,09E-04
ND-0602-2249	Pozo Nº1	267.457	6.186.637	135	83	1,89	133,11	ene-04	45	1,68	170	1,78E-04
ND-0602-2416		268.839	6.182.320	135	51,5	4,35	130,65	mar-97	18,3	2,48	259	4,91E-04
ND-0602-2599		264.625	6.187.279	135	35	8,40	126,60	ago-06	4	1,15	124	6,26E-05
ND-0602-452		263.133	6.187.487	139	50	8,58	130,42	dic-90	33	1,18	116	1,12E-04
ND-0602-695	Pozo Nº2	267.343	6.181.152	144	70	6,15	137,85	dic-95	10	0,24	25	2,86E-05
ND-0603-1006		263.898	6.190.067	134	120	0,00	134,00	abr-98	95	2,39	235	1,24E-04
ND-0603-1038		264.168	6.189.827	134	128	0,69	133,31	ago-88	60	1,95	193	1,42E-04
ND-0603-1528		259.468	6.193.077	146	68	0,95	145,05	ene-98	35	0,7	71	1,83E-05
ND-0603-2007		257.501	6.195.294	151	165	3,80	147,20	jul-99	40	0,46	46	2,40E-05
ND-0603-2008		257.615	6.194.392	156	152	14,20	141,80	abr-04	34	0,4	39	6,02E-06
ND-0603-2042		256.712	6.195.450	154	110	5,00	149,00	ago-00	16	0,2	48	8,21E-06
ND-0603-2047		265.416	6.190.254	139	138	4,95	134,05	oct-99	117	2,54	246	7,68E-05
ND-0603-2048		268.901	6.188.378	132	123	0,00	132,00	jun-99	60	2,31	223	1,85E-04

		UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m.s.n.m.)	P (m)	NE (m)	NE (m.s.n.m.)	Fecha	Qmax (l/s)	GE (l/s/m)	T (m^2/día)	K (m/s)
ND-0603-2058		264.200	6.191.036	143	130	15,28	127,72	mar-99	110	3,53	341	8,78E-05
ND-0603-2059		263.778	6.190.397	137	135	3,54	133,46	dic-98	110	5,39	521	1,77E-04
ND-0603-2074		255.638	6.196.074	163	50	2,46	160,54	feb-88	27	1,46	148	2,44E-04
ND-0603-2098	M-5	258.938	6.193.777	144	102	0,00	144,00	sep-00	57	1,21	119	3,29E-05
ND-0603-2098	M-6	259.528	6.194.177	155	99	11,00	144,00	oct-00	58	2,36	233	6,90E-05
ND-0603-2098	M-7	259.948	6.194.007	149	118	21,80	127,20	may-01	40	1,65	162	4,48E-05
ND-0603-2099	Montes Nº3	255.483	6.196.377	164	45	8,07	155,93	dic-01	8	0,49	134	1,20E-04
ND-0603-2099	Montes Nº2	256.124	6.195.747	158	74	8,07	149,93	dic-01	29	0,76	75	4,34E-05
ND-0603-2100		256.544	6.192.721	139	30	4,40	134,60	may-02	21,2	2,22	302	1,88E-04
ND-0603-2101		256.053	6.195.399	157	72	12,06	144,94	feb-02	18	0,56	103	3,30E-05
ND-0603-2108	M-10	259.904	6.193.395	150	117	15,17	134,83	mar-02	44	0,92	90	7,06E-05
ND-0603-2108	M-11	260.176	6.192.729	152	124	19,00	133,00	mar-02	49	2,56	253	1,22E-04
ND-0603-2108	M-12	260.557	6.194.561	156	116	22,60	133,40	abr-02	39	1,32	131	8,18E-05
ND-0603-2108	M-13	260.629	6.193.412	154	96	20,70	133,30	may-02	33	0,99	100	6,42E-05
ND-0603-2117		255.833	6.195.836	163	72	9,12	153,88	dic-02	35,2	1,22	120	3,32E-05
ND-0603-2120		259.109	6.193.281	142	108	9,00	133,00	sep-02	33	0,73	72	2,32E-05
ND-0603-2122		258.028	6.195.445	150	103	9,45	140,55	abr-01	60	1,68	166	6,18E-05
ND-0603-2147		261.597	6.188.221	142	17	14,80	127,20	abr-03	2,6	1,37	105	1,22E-03
ND-0603-2153		259.851	6.192.928	149	102	10,70	138,30	may-03	43	1,41	139	3,27E-05
ND-0603-2155		254.574	6.196.289	164	72	5,90	158,10	mar-03	30	0,99	97	2,82E-05
ND-0603-2156		254.965	6.196.288	165	66,8	5,30	159,70	dic-02	35	0,93	92	1,96E-05
ND-0603-2166		258.668	6.194.438	149	30	0,00	149,00	ene-88	34	1,78	180	3,48E-04
ND-0603-2172		259.551	6.190.178	144	50	10,56	133,44	may-03	15	0,97	102	1,96E-04
ND-0603-2178		260.868	6.189.877	136	45	4,78	131,22	mar-04	32	2,66	269	2,08E-04
ND-0603-2179		260.998	6.189.247	134	60	5,62	128,38	feb-04	22,5	1,58	160	1,42E-04
ND-0603-2183		255.440	6.194.607	168	53	13,31	154,69	sep-01	12	1,2	119	6,18E-05

		UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m.s.n.m.)	P (m)	NE (m)	NE (m.s.n.m.)	Fecha	Qmax (l/s)	GE (l/s/m)	T (m^2/día)	K (m/s)
ND-0603-2197		256.731	6.192.625	139	42	2,40	136,60	nov-02	10	1,08	138	7,26E-05
ND-0603-2207		254.136	6.196.386	168	65	5,60	162,40	jun-04	22	0,62	61	2,61E-05
ND-0603-2384		257.676	6.196.028	155	25	8,28	146,72	ene-04	5,2	0,66	94	6,50E-05
ND-0603-2385		256.521	6.195.427	156	30	10,25	145,75	may-03	5,1	0,65	70	3,68E-05
ND-0603-2386		256.587	6.195.495	155	25	7,81	147,19	oct-03	5,2	0,53	149	2,15E-04
ND-0603-2387		257.051	6.195.966	168	100	30,67	137,33	ene-05	27	0,75	76	1,75E-05
ND-0603-2388		256.428	6.195.300	157	25	8,15	148,85	ene-04	5	0,56	61	1,41E-04
ND-0603-2390		256.697	6.195.601	157	30	8,20	148,80	oct-03	4,8	0,48	139	2,06E-04
ND-0603-3748		262.890	6.193.737	147	55	6,00	141,00	abr-98				
NR-0602-2060		267.292	6.186.476	140	52,5	6,41	133,59	abr-66	70	2,22	219	8,36E-05
VPC-0602-2010	Pozo Nº2	268.799	6.186.550	133	55	5,50	127,50	ago-04	80	4,78	472	3,64E-04
VPC-0602-2010	Pozo Nº1	269.882	6.186.072	132	75	4,10	127,90	jul-04	40	1,61	159	5,74E-05
VPC-0603-2002	Pozo 852	256.333	6.195.602	156	91	13,00	143,00	abr-04	20	0,81	84	1,28E-05
VPC-0603-2002	Pozo 862	256.281	6.195.399	156	91	13,00	143,00	may-04	19	0,56	74	1,10E-05
VPC-0603-2002	Pozo 874	256.367	6.195.739	156	91	12,80	143,20	jun-04	22	6,13	639	1,12E-04
VPC-0603-2002	Pozo 889	256.393	6.195.845	160	91	16,00	144,00	ago-04	31	0,84	85	1,61E-05
VPC-0603-2007		259.665	6.192.666	150	115	13,98	136,02	oct-04	41	1,56	158	4,36E-05
VPC-0603-2012		262.305	6.193.224	144	82	26,09	117,91	nov-05	75	2,45	242	2,14E-04
VPC-0603-2013	Pozo Nº1	261.710	6.187.954	146	55	17,31	128,69	dic-02	40	2,61	257	2,48E-04
VPC-0603-2013	Pozo Nº2	262.049	6.187.678	143	35	12,18	130,82	ene-03	33	2,71	267	2,58E-04
VPC-0603-2015		259.877	6.192.595	150	120	21,18	128,82	sep-04	35	2,19	222	5,14E-05
VPC-0603-2016		260.641	6.189.240	141	60	13,58	127,42	abr-06	14	0,52	52	1,21E-04
VPC-0603-2019		267.453	6.190.983	131	110	8,28	122,72	sep-04	38	0,72	71	1,27E-05
VPC-0603-2022	Montes Nº18	255.710	6.195.993	162	82	32,53	129,47	jun-11	13,1	0,59	60	2,30E-05
VPC-0603-2022	Montes Nº19	256.094	6.195.748	159	85	35,65	123,35	jun-11	12,5	0,73	74	2,86E-05
VPC-0603-2029		257.718	6.195.611	156	80	21,57	134,43	ago-04	11,5	0,32	32	6,74E-06



SIMBOLOGÍA BASE

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

Unidad Análisis
- Límite SS Cca.

Hidrografía Drenaje
- Estero
- Quebrada Interm.
- Canal

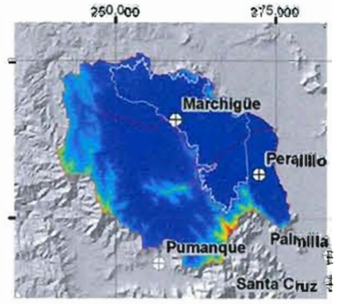
Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Fuente información
- Pozo T

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 900
- Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

Gobierno de Chile

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

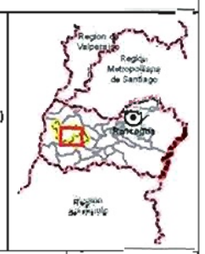
TEMA: Isotransmisibilidad de pozos

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina2.16_Isotransmisibilidad de pozos.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)



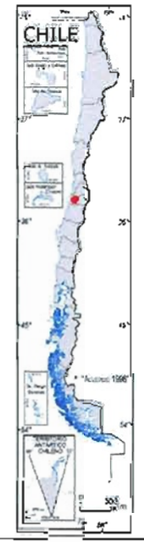


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
2.16 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000

2.4.5 Porosidad Efectiva

En el área de estudio no existen antecedentes que indiquen cuál sería la "porosidad efectiva" del Acuífero A de alta importancia hidrogeológica. Sin embargo, es posible inferir que si este Acuífero A es confinado a semiconfinado, la porosidad efectiva disponible como para recargar sería nula o muy baja. Por tanto, la recarga debería realizarse en capas superiores al nivel estático o derechamente en la zona no saturada.

Sin embargo, tal como se mencionó anteriormente, la existencia de estratos de arcilla haría inviable la recarga desde la superficie.

2.4.6 Características Químicas de los Materiales Presentes en la Formación Geológica.

Las rocas presentes en el área de estudio que influirían químicamente en las características de las aguas subterráneas, en general, son los afloramientos del basamento metamórfico como el batolito cristalino ubicados al oeste de la Figura 2.10 dado que las aguas se desplazan en sentido NW a SE buscando la salida hacia el Lago Rapel. Estas rocas son de carácter graníticos tanto las metamórficas como las ígneas, tienen además, un alto contenido de cuarzo. Por otra parte los depósitos cineríticos puzolánicos también influyen durante la circulación de las aguas. Según Hauser (1990) las aguas no presentan anomalías notables en sus parámetros químicos más relevantes aunque si se reconoce que presentan una muy alta dureza, por ejemplo, el alto contenido de sílice que genera incrustaciones. Esta particular estabilidad tendría relación con acuíferos albergados en ambientes litológicos relativamente uniformes. Por otra parte, se asocian las anomalías de manganeso y fierro a la presencia de niveles arcillosos de alta concentración orgánica muy sensible a intercambio catiónico.

2.4.7 Existencia de Bolsones de Mayor Permeabilidad.

A partir de las unidades geológicas reconocidas en el sector de estudio sumado a sus características hidrogeológicas para conformar acuíferos, se infiere que a mayor profundidad en los depósitos fluviales actuales (Qfa) y fluvio-aluvionales (Qfal), existirían estratos de mayor granulometría aunque con mayor compacidad. Por ejemplo, en un pozo perforado en el Fundo San Joaquín, a orillas del estero Las Cadenas, entre los 131 (m) y los 150 (m) se detecta un estrato de gravas gruesas y arenas gruesas con intercalación de limos.

2.5 Geofísica

En 1997 la empresa Exploración y Desarrollo de Recursos de Agua S.A. (EDRA) realizó un estudio de aguas subterráneas en el área de Marchigüe, incluyendo un estudio geofísico que consistió en dos campañas de terreno, empleando el método TEM.

La primera campaña consideró 30 sondajes geoeléctricos, que definieron 5 perfiles transversales al curso del estero Las Cadenas, entre Marchigüe-El Crucero (Perfil A) y Población (Perfil E) (ver Figura 2.11).

En la segunda campaña se realizaron 37 sondajes geoeléctricos. De ellos, 9 se emplearon para prolongar algunos de los perfiles de la campaña anterior en dirección a los cerros de La Patagua (cordón montañoso que enmarca el valle del estero Las Cadenas por el sur); 10 en dos perfiles paralelos e intercalados a los anteriores; y los 18 restantes en 3 perfiles transversales al curso del estero Chequén.

La interpretación de este estudio geoeléctrico señala que la zona del estudio corresponde a una cuenca con un basamento rocoso que aflora en ambos costados del valle (cerros de Trinidad por el norte y el cordón La Patagua por el sur). Los sedimentos que rellenan esta cuenca se acuñan hacia los costados del

valle y presentan potencias que van desde los 50 (m) hasta presumiblemente más de 200 (m) en el eje de la cuenca.

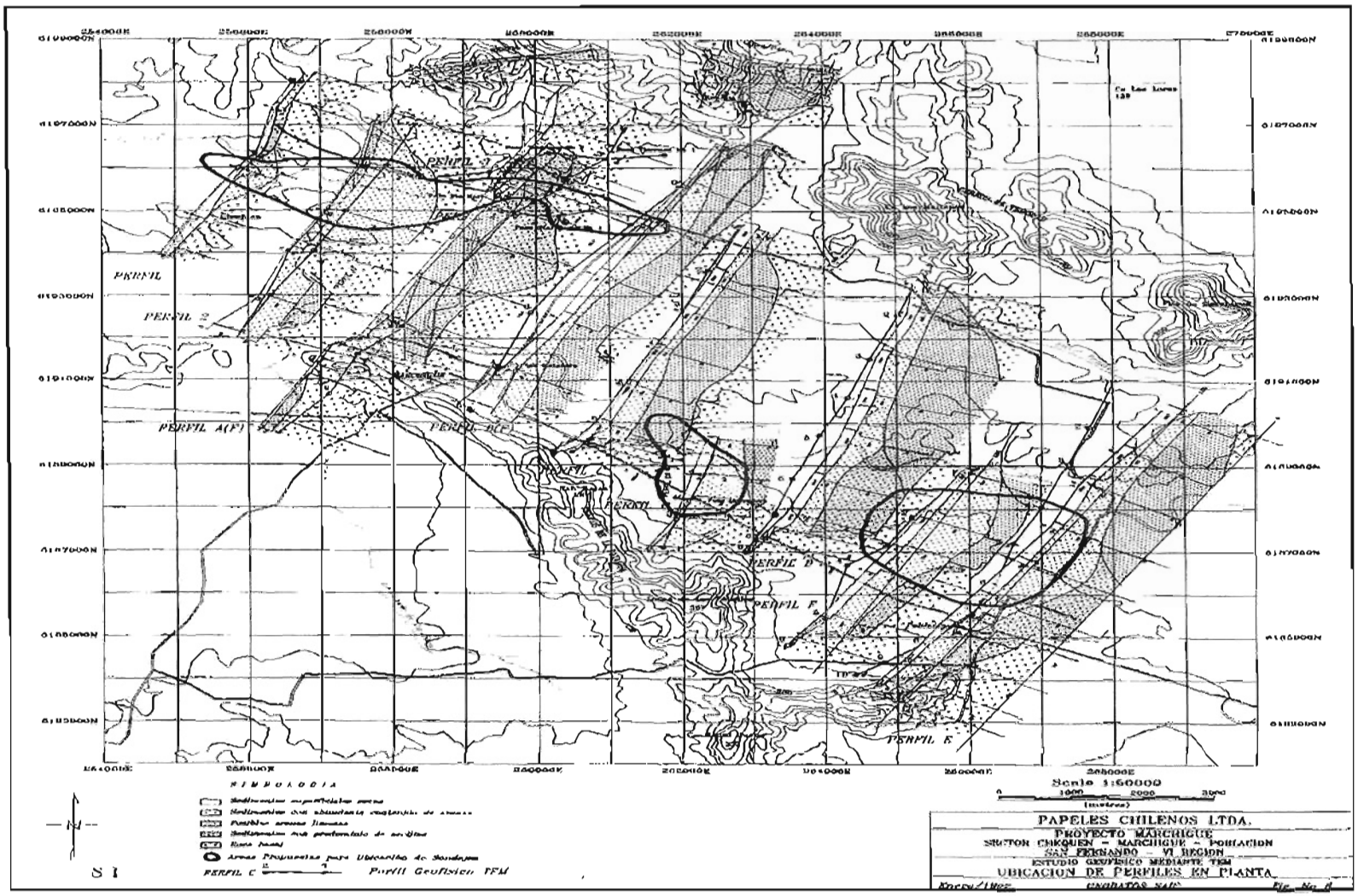
El relleno de esta cuenca, de acuerdo a este estudio, corresponde principalmente a 3 unidades:

- Una cubierta de sedimentos secos que se distribuyen en toda el área de estudio y presentan espesores del orden de 10 a 30 (m).

- Un nivel de sedimentos con abundante contenido de arena, el que presenta las condiciones más favorables como acuífero. Este nivel presenta espesores variables encontrándose mejor desarrollado hacia los extremos de la cuenca, en los sectores de Población, donde tiene un espesor máximo cercano a 80 m; y en el sector ubicado al oeste de El Crucero, donde conforma prácticamente todo el relleno de la cuenca y alcanza un espesor ligeramente superior a los 100 (m).

- Una potente unidad de sedimentos con predominio de limos y arcillas que se dispone inmediatamente sobre el basamento rocoso presentando una variación lateral a sedimentos de arenas limosas hacia el borde sur y en el extremo sudeste de la cuenca. Por otro lado, en el extremo noroeste de la cuenca esta unidad no se ve representada en los perfiles y solo aparece como lentes dentro de la unidad de arenas.

Figura 2.11: Estudio Geofísico.



3 ZONAS POTENCIALES DE RECARGA ARTIFICIAL

3.1 Generalidades

La recarga artificial de acuíferos se puede realizar, en principio, en cualquier tipo de formación permeable que tenga condiciones para almacenar y transmitir agua. Ahora bien, no todos los acuíferos son adecuados para realizar una recarga artificial. La efectividad de la misma está estrechamente ligada a las características hidrogeológicas, hidrodinámicas y de almacenamiento del acuífero receptor, así como al régimen de explotación al que se encuentra sometido.

Con toda la información recopilada en el presente estudio (hidrológica, hidrogeológica, topográfica, disponibilidad de terreno, etc.), se propusieron puntos aptos para la recarga del acuífero dentro del sector del estudio. En un principio se propondría alternativas para los dos sistemas de recarga a ejecutar, pero debido a justificaciones técnicas, la filosofía del proyecto cambia para quedar finalmente en un solo piloto, utilizando la caja del estero Las Cadenas (en el sector de Demasías) como una megabalsa de infiltración:

Las alternativas se evalúan en función de varios parámetros hidrogeológicos. En efecto, las balsas de infiltración tienen como condición operativa indispensable que todos los estratos ubicados sobre el acuífero a recargar posean permeabilidad media a alta. Por lo tanto, la presencia de estratos de baja permeabilidad en superficie o entre la balsa y el acuífero a recargar hace inviable esta alternativa.

Por el contrario, los pozos de infiltración permiten independizar la recarga artificial de la estratigrafía, permitiendo descargar directamente las aguas superficiales en el acuífero. En este caso, la eficiencia de la recarga artificial dependerá de las condiciones de confinamiento o no confinamiento del acuífero a recargar.

Se aprecia que la identificación de zonas potenciales de recarga artificial, así como la modalidad de infiltración (balsas o pozos) depende en primera instancia de la información estratigráfica del sector del estudio, pasando luego a considerar las demás condicionantes.

Otros aspectos a considerar en la definición de zonas potenciales de recarga artificial son:

- Disponibilidad de caudales excedentes invernales susceptibles de emplearse en la recarga artificial de acuíferos.
- Calidad de agua compatible con la recarga artificial de acuíferos.
- Cercanía a cauces naturales o artificiales, para minimizar obras de conducción a balsas o pozos de infiltración, la cual además debe ser gravitacional.
- Autorización formal de los propietarios de los predios en los que se emplacen las obras de recarga artificial.

3.2 Definición de Zonas Potenciales de Recarga Artificial

Se solicitó a la DGA la información estratigráfica y de pruebas de bombeo de todos los pozos con derechos de agua constituidos en el área del estudio. Esa información permitió establecer un modelo hidrogeológico conceptual, que entrega antecedentes relevantes para definir áreas en que sean viables las balsas o pozos de infiltración.

La información disponible señala que en gran parte del área del estudio no se dan las condiciones necesarias para la construcción de una balsa de infiltración, pues el estrato superficial está formado por material de baja a muy baja permeabilidad con un espesor superior a 4,0 (m), incompatible con la profundidad a excavar en caso de construir una balsa, del orden de 1,0.

Sin embargo, se detectaron varios pozos en que esta condición no se cumple, es decir, que sería posible construir una balsa de infiltración. Estos sectores son:

a) Las Cadenas

b) Chequén

c) Los Maitenes

De los sectores mencionados, Las Cadenas representa el de mayor interés, debido al respaldo hidrológico del estero del mismo nombre. Por el contrario, los esteros Chequén y Trinidad poseen una cuenca mucho más pequeña que la de Las Cadenas. En la Tabla 3.1 se muestran los valores de caudales estimados para esos puntos, mediante transposición de áreas.

Tabla 3.1: Caudales Estimados para los Sectores de Estudio.

SECTOR	Las Cadenas	Chequén	Los Maitenes
ÁREA CUENCA (km^2)	524,3	33,3	24,2
CAUDAL MEDIO ANUAL (m^3/s)	2,58	0,16	0,12
CAUDAL MEDIO INVIERNO (m^3/s) (P_{exc} = 50%)	3,35	0,21	0,15
CAUDAL MEDIO INVIERNO (m^3/s) (P_{exc} = 20%)	9,23	0,59	0,43

En consecuencia, el sitio Las Cadenas cuenta, por lejos, con el mayor respaldo de disponibilidad hidrológica de caudales, con una media de 3,35 (m^3/s) para el período de invierno y un caudal de 1,05 (m^3/s) para un año seco, asociado a una probabilidad de excedencia del 85%.

Para el estero Chequén los respectivos caudales son de 210 (l/s) y 70 (l/s), mientras que para el estero Trinidad son de 150 (l/s) y 50 (l/s).

En función de los antecedentes revisados, los sectores Las Cadenas (balsa de infiltración) y San Joaquín (pozo de infiltración) resultan ser los de mayor interés, debido al respaldo hidrológico del estero Las Cadenas, a la existencia de derechos de agua y a la disposición del dueño del terreno en el que se propone emplazar la laguna de infiltración. Por el contrario, los esteros Chequén y Trinidad no cuentan con un respaldo hidrológico del mismo orden y, en el último caso, ni siquiera se detectaron derechos de agua superficiales.

Santa Ana es una segunda opción de pozo de infiltración con respaldo hidrológico y disposición positiva para las correspondientes autorizaciones. La única precaución en este caso consiste en coordinar con los usuarios del canal Población su uso en época invernal, ya que, como es usual, en esa época prácticamente no hay demanda de agua para riego y los canales son secados para realizarles mantención.

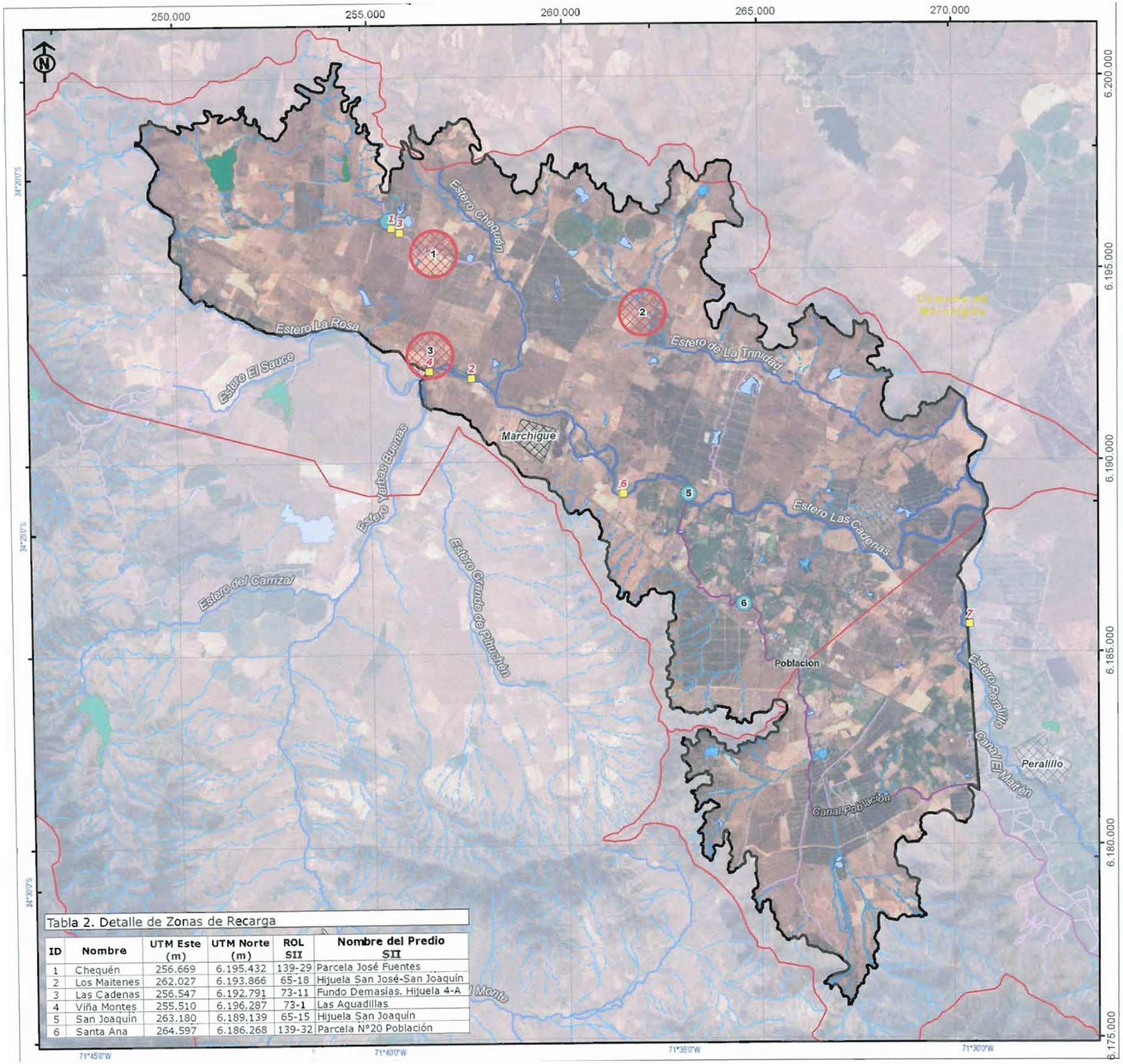


Tabla 2. Detalle de Zonas de Recarga

ID	Nombre	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	ROL SII	Nombre del Predio SII
1	Chequén	256.669	6.195.432	139-29	Parcela José Fuentes
2	Los Maitenes	262.027	6.193.866	65-18	Hijuela San José-San Joaquín
3	Las Cadenas	256.547	6.192.791	73-11	Fundo Demasías, Hijuela 4-A
4	Viña Montes	255.510	6.196.287	73-1	Las Aguadillas
5	San Joaquín	263.180	6.189.139	65-15	Hijuela San Joaquín
6	Santa Ana	264.597	6.186.268	139-32	Parcela N°20 Población

SIMBOLOGÍA BASE

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

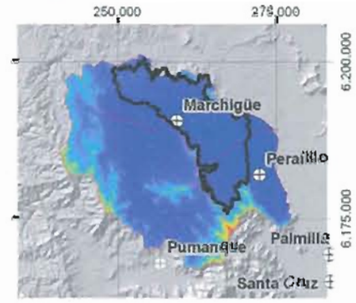
Unidad Análisis
- Límite SS Cca.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Zona potencial de recarga
- Laguna de infiltración
- Pozo de infiltración

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 900
- Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

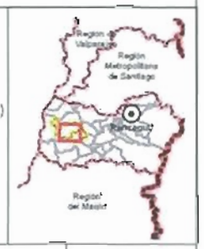
TEMA: Zonas potenciales de recarga

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina3.1_Zonas potenciales de recarga.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 Sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)



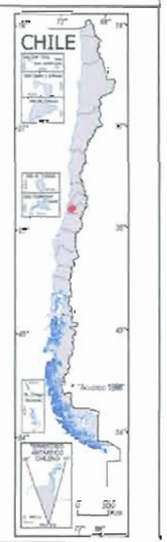


LÁMINA / VERS.	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
3.1 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000

3.3 Exploraciones Realizadas

Durante las campañas de terreno ejecutadas para el presente estudio se excavaron 15 calicatas en diversos sectores que se consideraron inicialmente como opciones para ubicar una balsa de infiltración. En algunas de ellas se efectuaron ensayos de infiltración, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.2.

3.4 Condiciones Legales

Una última condición corresponde a los aspectos de derechos de agua. En efecto, para alimentar las lagunas de infiltración se requiere que estén disponibles derechos de agua. De lo contrario, se incurriría en extracciones ilegales de recursos hídricos. (Ver Anexo B)

Durante la Etapa 1 del presente estudio se realizó un estudio de derechos de agua superficiales constituidos en el área analizada, que entregó como resultado la reciente constitución de un traslado de derechos, identificado con el expediente DGA VT-0603-2016. Los derechos en cuestión fueron constituidos en favor de Montes S.A. el 16 de enero de 2014 (Resolución DGA N°45) mediante el detalle de la Tabla 3.3 y Tabla 3.4.

Tabla 3.2: Ensayos de Infiltración.

Sector	Calicata	K_{fs} (cm/s)
Las Cadenas	Noria Moreno	$2{,}2 \cdot 10^{-3}$
Las Cadenas	Calicata N°13	*
Chequén	Calicata N°14	$4{,}7 \cdot 10^{-3}$
Chequén	Calicata N°15	$8{,}4 \cdot 10^{-4}$
Los Maitenes	Calicata N°10	$5{,}6 \cdot 10^{-3}$
Canal Población	Calicata N°6	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$

Canal Población	Calicata Nº2	*

*: No se observó descenso de nivel durante el ensayo.

Tabla 3.3: Derechos Constituidos en el Estero Las Cadenas (l/s).

Tipo Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	(l/s)											
Permanente y continuo	5	3	7	18	18	18	18	18	18	18	18	12
Eventual y discontinuo	13	15	11	0	0	0	0	0	0	0	0	6

Tabla 3.4: Derechos Constituidos en el Estero Chequén (l/s).

Tipo Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	(l/s)											
Permanente y discontinuo	0	0	0	1	18	18	18	18	15	4	2	0
Eventual y discontinuo	18	18	18	17	0	0	0	0	3	14	16	18

Los puntos de captación son 4: 2 en el estero Las Cadenas y 2 en el estero Chequén, los se muestran en la Lámina 3.2. En la resolución se indica que los caudales se podrán captar gravitacional o mecánicamente en forma indistinta y alternada. Las coordenadas UTM (Datum WGS 84) de estos puntos de captación se detallan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Puntos de Captación VT-0603-2016.

Cauce	Coordenadas UTM WGS84	
	Norte (m)	Este (m)
Estero Las Cadenas	6.192.173	257.615
	6.192.365	256.525
Estero Chequén	6.196.094	255.594
	6.195.973	255.799

Estos derechos podrían emplearse en pilotos de recarga artificial de acuíferos en los sectores Las Cadenas y Chequén, propuestos en la Tabla 3.5.

Durante la ejecución de la Etapa 2, se procedió a recabar información de derechos de aguas superficiales en los archivos de los Conservadores de Bienes Raíces (CBR) de Santa Cruz y Peralillo. La información se adjunta en la Tabla 3.6.

En Abril de 2014 se realizaron reuniones con altos representantes de la viña Montes y del fundo San Joaquín, con el auspicio de la CNR, en las que se alcanzó un acuerdo informal del uso temporal de derechos de agua (Montes: 18 (l/s); San Joaquín: 49 (l/s)) para la ejecución de ensayos de infiltración.

Tabla 3.6: Derechos de Agua Superficial Inscritos en CBR de Peralillo y Santa Cruz

Nº	LUGAR CBR	REGISTRO AÑO CBR ACTUAL	NUMERO CBR ACTUAL	FOJAS CBR ACTUAL	TIPO DE TRANSACCION	FECHA DE INSCRIPCION EN EL CBR	NOMBRE COMPRADOR	NATURALEZA	CAUDAL	UNIDAD CAUDAL	TIPO DE DERECHO	EJERCICIO	FUENTE
102	PERALILLO	2005	26		REINSCRIPCION	23-09-2005	SOC. VALLE DE LOS OLIVOS S.A.	SUPERFICIAL	10.05	L/S	CONSUNTIVO	PERMANENTE Y CONTINUO	ESTERO LAS CADENAS
103	PERALILLO	2005	26		REINSCRIPCION	23-09-2005	SOC. VALLE DE LOS OLIVOS S.A.	SUPERFICIAL	3.36	L/S	CONSUNTIVO	PERMANENTE Y CONTINUO	ESTERO LAS CADENAS
194	PERALILLO	2006	180		ADJUDICACION	14-09-2006	JOSE LUIS RODRIGUEZ RIVERA	SUPERFICIAL	0.48	ACCIONES			ESTERO LAS CADENAS
230	PERALILLO	2006	26	24	COMPRA VENTA	24-02-2006	LUIS ALBERTO BROWNE COVARRUBIAS Y OTROS	SUPERFICIAL	16.43	L/S	CONSUNTIVO	PERMANENTE Y CONTINUO	ESTERO LAS CADENAS
231	PERALILLO	2006	26	24	COMPRA VENTA	24-02-2006	LUIS ALBERTO BROWNE COVARRUBIAS Y OTROS	SUPERFICIAL	49.06	L/S	CONSUNTIVO	PERMANENTE Y CONTINUO	ESTERO LAS CADENAS
233	PERALILLO	2006	27		COMPRA VENTA	01-03-2006	AGRICOLA SAN JOAQUIN LTDA.	SUPERFICIAL	49.00	L/S	CONSUNTIVO	PERMANENTE Y CONTINUO	ESTERO LAS CADENAS
319	PERALILLO	2007	165	187	COMPRA VENTA	12-07-2007	ARNALDO DEL TRANSITO ROJAS CABELLO Y OTROS	SUPERFICIAL	0.49	ACCIONES			ESTERO LAS CADENAS
538	PERALILLO	2008	213	238	COMPRA VENTA	25-08-2008	GLADYS DE LAS MERCEDES ROJAS CABELLO	SUPERFICIAL	0.48	ACCIONES			ESTERO LAS CADENAS RIO TINGUIRIRICA
702	PERALILLO	2009	157	174	COMPRA VENTA	05-11-2009	AGRICOLA EL SANTUARIO LTDA	SUPERFICIAL	19.00	L/S			ESTERO LAS CADENAS
775	PERALILLO	2010	134	149	COMPRA VENTA	15-04-2010	AGRICOLA RIO YALI LTDA	SUPERFICIAL	165.00	L/S			ESTERO LAS CADENAS
804	PERALILLO	2010	165	177	COMPRA VENTA	23-06-2010	MONTES SA	SUPERFICIAL	18.00	L/S			ESTERO LAS CADENAS
896	PERALILLO	2010	277	305	COMPRA VENTA	30-12-2010	ASESORIA E INVERSIONES D Y P TRES LTDA	SUPERFICIAL	150.00	L/S	CONSUNTIVO	PERMANENTE Y CONTINUO	ESTERO LAS CADENAS
897	PERALILLO	2010	278	306	COMPRA VENTA	30-12-2010	ASESORIA E INVERSIONES D Y P TRES LTDA	SUPERFICIAL	165.00	L/S	CONSUNTIVO	PERMANENTE Y CONTINUO	ESTERO LAS CADENAS
925	PERALILLO	2010	72	69	COMPRA VENTA	23-02-2010	PRIETO CASTILLO ERNESTO EDUARDO	SUPERFICIAL	165.00	L/S	CONSUNTIVO		ESTERO LAS CADENAS
935	PERALILLO	2011	183	183	SUSECION	20-05-2011	CERON ULLOA EDUARDO ALEJANDRO	SUPERFICIAL	0.48	ACCIONES			ESTERO LAS CADENAS
937	PERALILLO	2011	183	183	SUSECION	20-05-2011	CERON ULLOA EDUARDO ALEJANDRO	SUPERFICIAL	4.48	L/S			ESTERO LAS CADENAS
1056	PERALILLO	2011	643	658	COMPRA VENTA	14-09-2011	INVERSIONES PAREDES NUEVAS SA		150.00	L/S			ESTERO LAS CADENAS
7340	SANTA CRUZ	2006	31	34	SUSECION	12-05-2006	GARCIA HUIDOBRO TOBAR, JACQUELINE CRISTINA Y OTROS		0.48	ACCIONES			ESTERO LAS CADENAS
7343	SANTA CRUZ	2006	31	34	SUSECION	12-05-2006	GARCIA HUIDOBRO TOBAR, JACQUELINE CRISTINA Y OTROS		4.48	L/S			ESTERO LAS CADENAS
7344	SANTA CRUZ	2006	32	35	SUSECION	12-05-2006	TOBAR VENEGAS, LEONARDO DEL TRANSITO Y OTROS		0.48	ACCIONES			ESTERO LAS CADENAS
7347	SANTA CRUZ	2006	32	35	SUSECION	12-05-2006	TOBAR VENEGAS, LEONARDO DEL TRANSITO Y OTROS		4.48	L/S			ESTERO LAS CADENAS

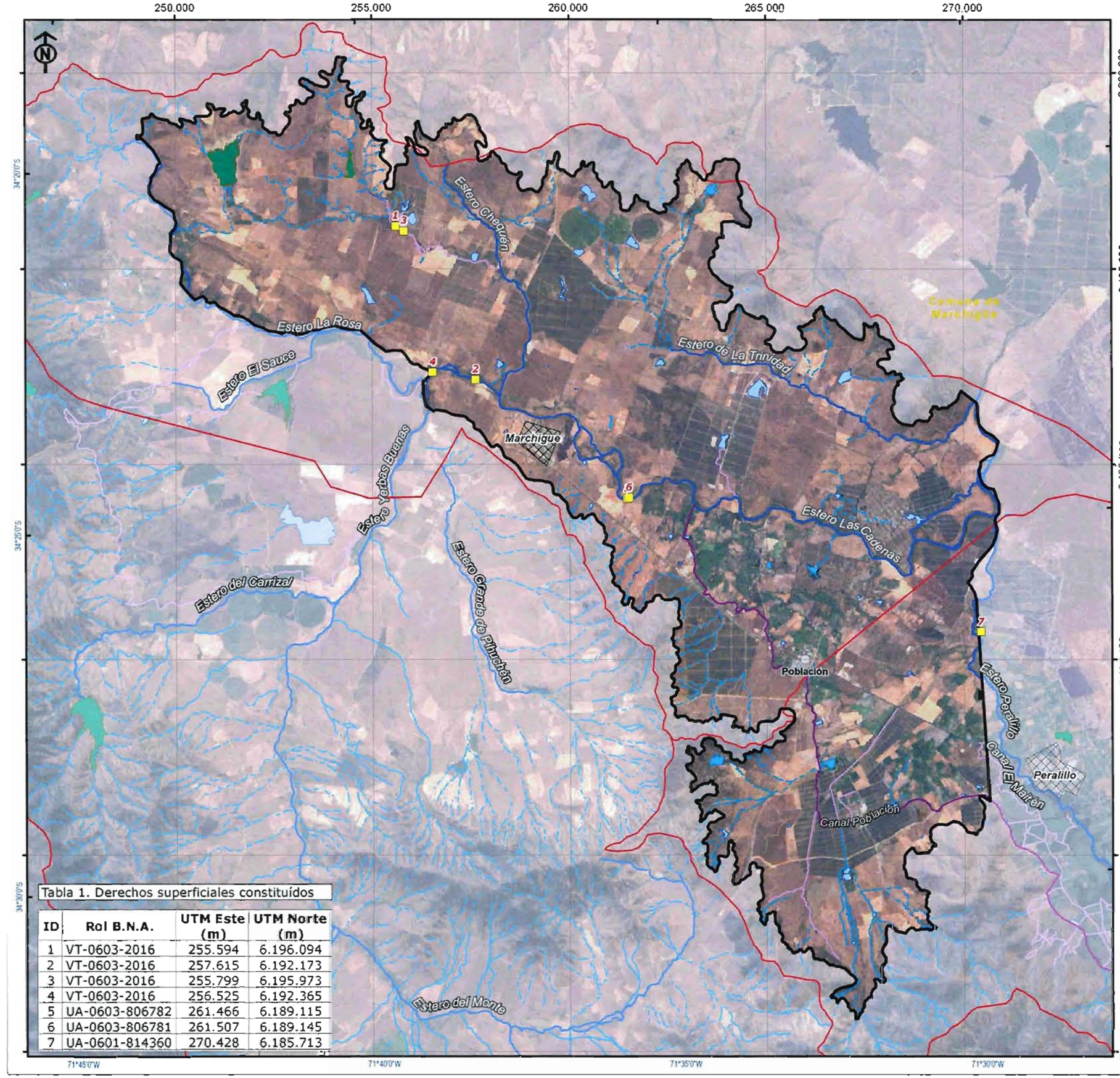


Tabla 1. Derechos superficiales constituídos

ID	Rol B.N.A.	UTM Este (m)	UTM Norte (m)
1	VT-0603-2016	255.594	6.196.094
2	VT-0603-2016	257.615	6.192.173
3	VT-0603-2016	255.799	6.195.973
4	VT-0603-2016	256.525	6.192.365
5	UA-0603-806782	261.466	6.189.115
6	UA-0603-806781	261.507	6.189.145
7	UA-0601-814360	270.428	6.185.713

SIMBOLOGÍA BASE

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

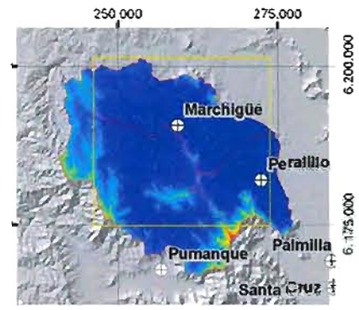
Unidad Análisis
- Límite SS Cca.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Hito de intervención
- Dros. superficiales concedidos

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Ubicación de Derechos superficiales otorgados

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina3.2_Ubicación de Derechos superficiales otorgados.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

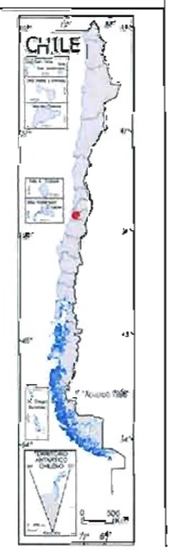
INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía IGM (2013)

LÁMINA / VERS.	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
3.2 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000



3.5 Disponibilidad de Agua para Recarga Artificial

3.5.1 Generalidades

Una condición totalmente necesaria para el desarrollo de cualquier tipo de PPRAA es disponer de excedentes de agua superficial. En términos generales, dado que el principal uso del agua subterránea en el sector del estudio es el riego, los excedentes de agua superficial se registran en invierno.

En una primera aproximación, dada la escasez de recursos hídricos en la red natural de drenaje existente en el sector del estudio, se consideró la red de canales de regadío asociada al canal Población, que capta sus recursos en el estero Chimbarongo, a su vez regulado por el embalse Convento Viejo y, por lo tanto, la oferta de agua para infiltración se independiza de la relativamente escasa pluviometría que se registra en la cuenca de los esteros Las Cadenas y Trinidad.

El canal Población es el único que existe en la zona del estudio, alimentando en ella los canales derivados Parceleros Peralillo, San Diego, Parceleros El Carmen y Santa Ana. Algunos de los poseedores de derechos de agua del canal Población han manifestado su disposición para destinar parte de los recursos hídricos invernales para recargar artificialmente el acuífero.

En el resto del sector del estudio, especialmente al norte del estero Las Cadenas, las aguas superficiales, provenientes de quebradas, son acumuladas en algunos tranques existentes en los cerros que circundan por el norte la cuenca del estero Las Cadenas.

En segundo lugar se consideran los eventuales recursos invernales disponibles del estero Las Cadenas.

3.5.2 Canal Población

El canal Población data de comienzos del siglo XX y conduce aguas para riego en el período Octubre – Mayo. Durante el resto del año se realizan labores de mantención y limpieza, recogiendo eventualmente una parte de las aguas lluvia, las que son evacuadas hacia el estero Las Cadenas a través de tres descargas invernales.

Se dispone de la estadística de caudales del canal Población desde octubre de 2010, que se presenta en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Caudales Mensuales en Bocatoma del Canal Población (m^3/s) (Fuente: Junta de Vigilancia Estero Chimbarongo).

	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14
SEP	-	0,26	0,82	0,68
OCT	1,97	3,06	*	*
NOV	2,23	3,86	*	2,18
DIC	2,34	4,00	*	3,03
ENE	2,42	4,56	*	*
FEB	2,02	3,94	3,40	
MAR	1,87	3,35	2,15	
ABR	2,25	3,01	1,78	
MAY	1,48	1,52	0,99	
JUN	0,23	-	-	

*: Estadística incompleta -: No hay registros

Como se observa, no existen datos fluviométricos del canal Población en el período en que se realizarían las recargas artificiales. Sin embargo, el estero Chimbarongo respalda los eventuales caudales invernales del canal Población.

En efecto, existe una completa estadística de caudales del estero Chimbarongo en Santa Cruz, es decir, en un punto cercano y aguas abajo de la obra de toma del canal Población. En el período junio-agosto estos caudales son del orden de 40 (m^3/s), cifra que respalda los eventuales caudales invernales del canal Población.

Por otro lado, existen regantes del canal Población, en el tramo que se encuentra dentro del área del estudio, interesados en la recarga artificial de acuíferos. Estos regantes dispondrían de los derechos de agua correspondientes, sin embargo, esta información debería verificarse en el Conservador de Bienes Raíces de Santa Cruz, en el caso de desarrollar esta alternativa de oferta de aguas para la recarga artificial del acuífero.

3.5.3 Estero Las Cadenas

De la estadística de caudales generados para el estero Las Cadenas en Marchigüe (Sección 2.1.2) se tienen los caudales medios mensuales de la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Caudales Medios Mensuales, Estero Las Cadenas en Marchigüe.

Mes	Caudal medio mensual (m^3/s)
Mayo	5,81
Junio	8,68
Julio	6,60
Agosto	4,50

Sin embargo, se debe determinar si existe factibilidad legal y técnica para utilizar los eventuales excedentes.

4 TRABAJOS REALIZADOS EN TERRENO

4.1 Reconocimiento Inicial del Terreno

4.1.1 Introducción

El 8 de enero de 2014 se realizó una visita de reconocimiento del sector del estudio, en la que participaron, por parte de Con Potencial Consultores (CP), Alejandro Arenas (director del proyecto), Juan Torres (coordinador técnico) y Macarena Bustamante (geóloga). En esta visita participó también, por la Comisión Nacional de Riego (CNR), don Marcial González, ingeniero hidráulico. En el sector de Población se incorporó al grupo de trabajo el celador del canal Población, Jesús Manuel Cornejo.

Los objetivos de esta visita fueron:

- Hacer un reconocimiento inicial del sector del estudio, en especial a lo largo del canal Población.
- Presentar a los profesionales de proyecto de CP a los parceleros contactados previamente por la CNR.
- Recopilar datos de exploraciones realizadas en suelos, además de los contactos (teléfonos, email, etc.) con personas, empresas o instituciones relevantes para el desarrollo de este estudio.

4.1.2 Sectores visitados

a) Santa Ana

El primer punto inspeccionado fue el que un grupo de parceleros propone para la prueba de infiltración, donde existe un pozo de 60 (m) de profundidad, que está disponible para realizar este ensayo. Este pozo, que se muestra en la Figura 4.1, se encuentra a menos de 5 m de distancia del canal Población, con coordenadas

aproximadas N-6.186,3 km, E-264,8 km (UTM, Datum WGS84 Huso 19 S). Se trata de una captación construida en enero de 1992, habilitada en acero con diámetro de 12", y que se encuentra en desuso desde hace unos 15 años, según lo averiguado en terreno.

Durante la visita de campo se intentó medir el nivel estático, pero no fue posible debido a que probablemente se han introducido elementos en su interior, que obstruyeron el paso de la sonda del pozómetro.

Figura 4.1: Pozo de la Comunidad de Parceleros Santa Ana.

Este pozo fue perforado hasta una profundidad de 60 (m) y habilitado con tubería ranurada entre los 10 (m) y los 58 (m) de profundidad.

A partir de la prueba de bombeo realizado al completarse la construcción (Aquadrill, 1992), se infirió que no hay conexión entre el acuífero y el canal Población, dado que este último que tiene casi 2 (m) de profundidad en este

sector, está excavado en una capa de material muy fino que correspondería a una arcilla limosa, lo que impediría la infiltración de caudales apreciables a estratos más permeables, ubicados a mayor profundidad.

A unos 50 (m) al sur de este pozo hay otro de 40 (m) de profundidad habilitado en tubería de PVC de 6", actualmente en operación, con tubería ranurada entre los 22 (m) y 40 (m) de profundidad. El dueño del predio en que ubica este segundo pozo, Juan Campos Cea, indicó que produce un caudal de 2 (l/s) y que el nivel estático es de 15 (m), mientras que el nivel dinámico medido durante esta visita es de 16,2 (m).

A continuación se procedió a recorrer el canal en un tramo de unos 2,5 (km) desde Santa Ana en dirección a San Ignacio, donde finaliza el trazado del canal. Se definieron preliminarmente otros dos sectores en los cuales se podrían excavar calicatas para caracterizar los primeros estratos y realizar ensayos de infiltración en la siguiente campaña de terreno.

***b)* Mina Las Pataguas (Población)**

En este sector la empresa Daco Explotaciones S.A. actualmente está produciendo puzolana para la producción de cemento, la que se extrae desde un extenso depósito de tobas cineríticas (cenizas volcánicas) con alto contenido de sílice. La inscripción de la propiedad minera corresponde a Las Pataguas 161/200, la que pertenece a Cementos Bío Bío en un área de 200 (ha). De acuerdo a lo informado de manera verbal por Ricardo Isla, jefe de planta de extracción de puzolana, esta capa de material muy fino, prácticamente impermeable, presenta espesores variables desde los 3 (m) y 9 (m), cubriendo una extensa área de Marchigüe, de acuerdo a la información geológica que ha generado la compañía minera, encontrándose a menos de 50 (cm) de profundidad, bajo la cobertura vegetal.

En la Figura 4.2 se puede observar el espesor máximo del yacimiento Las Pataguas al menos 5 (m). En la Figura 4.3 se observa que el material está desagregado.

Figura 4.2: Depósitos de Cenizas del Yacimiento Las Pataguas.

Figura 4.3: Depósitos de Cenizas del Yacimiento Las Pataguas.

Este nivel de cenizas es denominado y conocido en todo el sector del estudio como "tosca". En general, en los predios agrícolas se presenta a una profundidad en torno a 1 (m), con espesores que no superan los 0,5 (m), y es reconocida como una capa dura, impermeable y difícil de romper durante los trabajos agrícolas. Lo señalado representa una condición que debe evitarse en los sitios que se seleccionarán para emplazar balsas de infiltración para los pilotos de recarga artificial, ya que este nivel no favorecería la infiltración de caudal al acuífero.

c) San Joaquín

En el fundo San Joaquín tiene su término el canal Población, cuyos recursos son acumulados en un tranque de aproximadamente 1 (m) de profundidad ubicado en las coordenadas UTM N-6.188,2 km E-262,5 km (Datum WGS84 Huso 19 S). En el punto de descarga de caudal se observó la misma capa de "tosca" que corresponde al depósito de ceniza que es explotado en la faena minera Las Pataguas.

En la Figura 4.4 se observa la capa consolidada de "tosca" impermeable que en este sector presentaría un espesor inferior a 0,5 m, en la parte inferior izquierda de la figura.

Figura 4.4: Tranque de Término de Canal Población.

El volumen embalsado es utilizado para el regadío de plantaciones de olivos y viñas. Para evitar el rebalse, hay un marco partidor a unos 250 (m) al este del embalse, que conduce hasta su descarga en el estero Las Cadenas mediante un canal de unos 900 m de longitud.

d) Camino Marchigüe - Los Maitenes

Se visitó un pozo de áridos, que actualmente no se encuentra en explotación, ubicado a unos 2,5 (km) al norte de Marchigüe. Cubre un área de unas 4 (ha), observándose en las paredes de la excavación, de unos 5 (m) de profundidad, material fluvial grueso en una matriz arenosa. Se trata de una unidad superficial

completamente distinta que la observada en Población, con una permeabilidad mucho mayor. Sin embargo, se encuentra alejada del canal Población, por lo que no cuenta con esta fuente permanente de recarga.

En las Figuras Figura 4.5 y Figura 4.6 se muestra este material, eventualmente favorable para la construcción de una laguna de infiltración.

Figura 4.5: Corte del Terreno al Norte de Marchigüe.

Figura 4.6: Se Aprecia Material Granular Redondeado.

e) SANTA JULIA

Este sector se ubica en el extremo sureste del área de estudio y se accede a través del camino que une Población y Pumanque. El canal Población se encuentra a escasos metros de un sector relativamente plano donde podría emplazarse la balsa de infiltración, en propiedad de Héctor Silva. Sin embargo, para efectos de monitoreo y control del ensayo de recarga, el pozo construido

más cercano se encuentra a 4 (km) de distancia. Este sitio también podría ser explorado mediante calicatas.

4.2 Registro de Niveles de Agua Subterránea

4.2.1 Introducción

En esta sección se detallan las principales actividades desarrolladas en la primera campaña de terreno realizada en el sector del estudio, incluyendo la inspección de los esteros y canales del sector, con el fin de construir una línea base y determinar la disponibilidad actual del recurso hídrico en el acuífero de Marchigüe-Las Cadenas.

Para la selección de los pozos inspeccionados se utilizó como criterio que estos se encontraran cercanos a los principales cauces de agua (esteros Chequén, Las Cadenas, Trinidad y canal Población) y/o cercanos a cuerpos de aguas (tranques o embalses).

En cada punto estudiado se tomaron datos de localización con ayuda del GPS (incluyendo la cota del punto, la que se considera referencial), se tomaron registros fotográficos de la zona incluyendo el embalse Mallermo y tranques pertenecientes a los viñedos y campos particulares, además se registra el estado actual de los principales afluentes (Chequén, Las Cadenas, Trinidad y canal Población), además de una pequeña entrevista para recolectar datos como la profundidad perforada de los pozos, el caudal que entrega, potencia de la bomba, tiempo de recarga del pozo, etc.

Para medir el nivel de los pozos se utilizó un pozómetro marca Sondagua modelo GV-2417, y para determinar la ubicación geográfica de los puntos se utilizó un GPS modelo Garmin Etrex 30 (ver Figura 4.7).

Figura 4.7: Pozómetro de 100m y GPS de Posición y Altitud.

4.2.2 Selección de Pozos

Como criterio de selección de pozos para inspeccionar se priorizaron los pozos cercanos a cauces naturales o artificiales, manteniendo una distancia mínima entre mediciones de 500 (m). Este criterio no fue del todo estricto pues en algunos casos, al no existir mayor cantidad de pozos en una zona, se testeaban incluso con distancias de 250 (m). Otro criterio utilizado fue seleccionar pozos cercanos a embalses o tranques, con el fin observar la posible influencia de estos reservorios en los niveles de aguas subterráneas.

4.2.3 Metodología de Trabajo en Terreno

1) Al comienzo de cada jornada se hace un chequeo general del funcionamiento de los instrumentos, tanto las condiciones del sensor (en el caso del pozómetro) como las fuentes de poder. Se recomienda llevar un repuesto de baterías para cámara fotográfica, GPS y pozómetro.

2) Antes de cada medición se comprueba el funcionamiento del pozómetro.

3) Al comienzo de cada medición del nivel de pozo se deja en el terreno el GPS para calibrar el mismo luego al término de la medición, se hace registro fotográfico y se guarda el punto en el GPS.

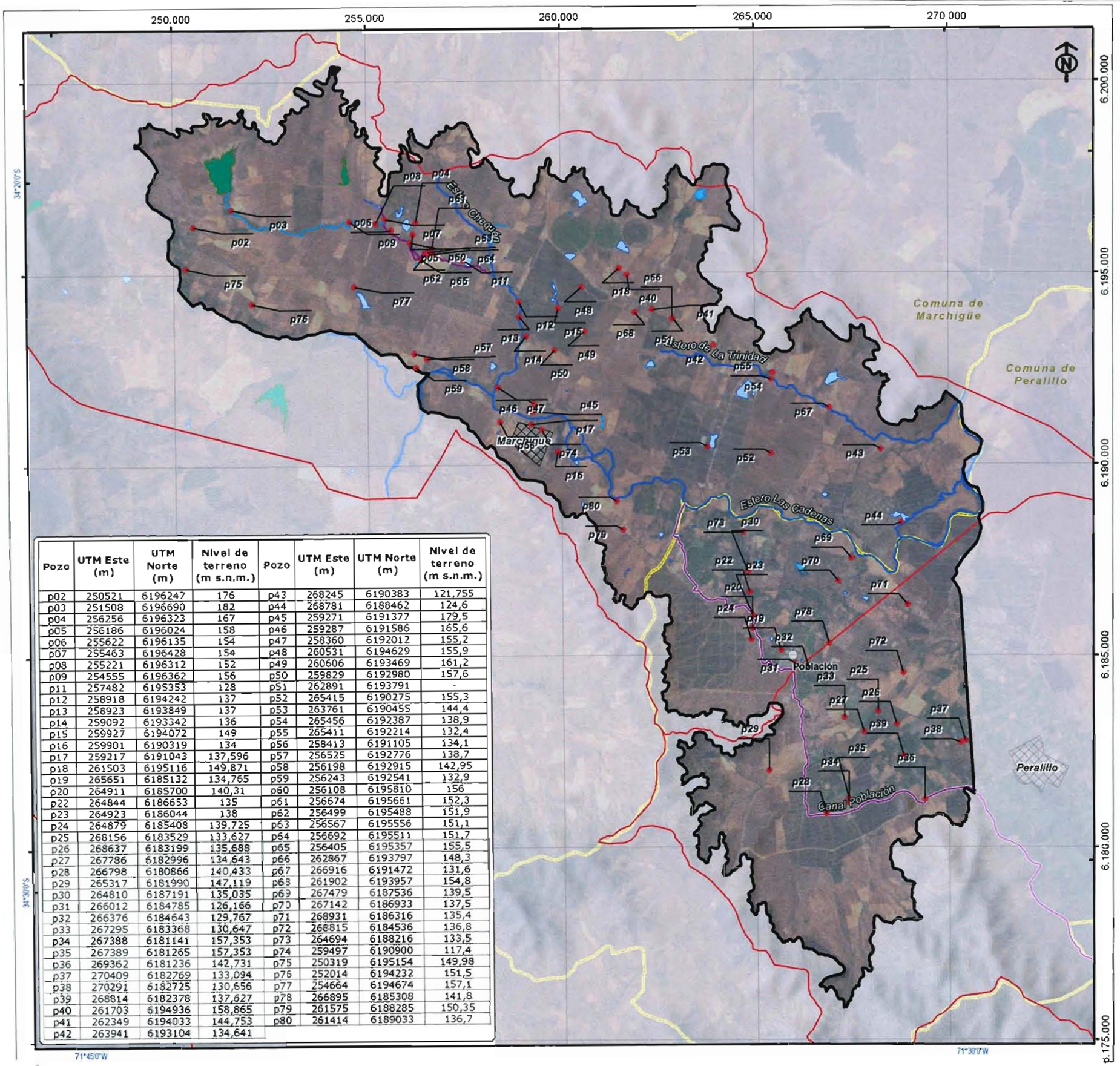
4) Mientras se realiza la medición del nivel de pozo se procede con la entrevista para llenar la encuesta sobre datos pertinentes al pozo, tiempos de recarga, potencia de la bomba, profundidad del pozo, etc.

5) Por último al terminar la jornada se traspasa la información a digital y se realiza planificación para el día siguiente, cargando los nuevos puntos en navegador GPS y trazando las rutas para la visita de los pozos.

4.2.4 Desarrollo

En la Lámina 4.1 se presenta la ubicación geográfica de los pozos catastrados en la campaña de terreno.

La Tabla 4.1 presenta los 79 pozos catastrados en la campaña de terreno con su respectivo registro en DGA, cabe señalar que las coordenadas expuestas en la tabla corresponden a las medidas en terreno, por lo que pueden presentar diferencias con los registros de la DGA.



Pozo	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)	Pozo	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)
p02	250521	6196247	176	p43	268245	6190383	121,755
p03	251508	6196690	182	p44	268781	6188462	124,6
p04	256256	6196323	167	p45	259271	6191377	179,5
p05	256186	6196024	158	p46	259287	6191586	165,6
p06	255622	6196135	154	p47	258360	6192012	155,2
p07	255463	6196428	154	p48	260531	6194629	155,9
p08	255221	6196312	152	p49	260606	6193469	161,2
p09	254555	6196362	156	p50	259829	6192980	157,6
p11	257482	6195353	128	p51	262891	6193791	-
p12	258918	6194242	137	p52	265415	6190275	155,3
p13	258923	6193849	137	p53	263761	6190455	144,4
p14	259092	6193342	136	p54	265456	6192387	138,9
p15	259927	6194072	149	p55	265411	6192214	132,4
p16	259901	6190319	134	p56	258413	6191105	134,1
p17	259217	6191043	137,596	p57	256525	6192776	138,7
p18	261503	6195116	149,871	p58	256198	6192915	142,95
p19	265651	6185132	134,765	p59	256243	6192541	132,9
p20	264911	6185700	140,31	p60	256108	6195810	156
p22	264844	6186653	135	p61	256674	6195661	152,3
p23	264923	6186044	138	p62	256499	6195488	151,9
p24	264879	6185408	139,725	p63	256567	6195556	151,1
p25	268156	6183529	133,627	p64	256692	6195511	151,7
p26	268637	6183199	135,688	p65	256405	6195357	155,5
p27	267786	6182996	134,643	p66	262867	6193797	148,3
p28	266798	6180866	140,433	p67	266916	6191472	131,6
p29	265317	6181990	147,119	p68	261902	6193957	154,8
p30	264810	6187191	135,035	p69	267479	6187536	139,5
p31	266012	6184785	126,166	p70	267142	6186933	137,5
p32	266376	6184643	129,767	p71	268931	6186316	135,4
p33	267295	6183368	130,647	p72	268815	6184536	136,8
p34	267388	6181141	157,353	p73	264694	6188216	133,5
p35	267389	6181265	157,353	p74	259497	6190900	117,4
p36	269362	6181236	142,731	p75	250319	6195154	149,98
p37	270409	6182769	133,094	p76	252014	6194232	151,5
p38	270291	6182725	130,656	p77	254664	6194674	157,1
p39	268814	6182378	137,627	p78	266895	6185308	141,8
p40	261703	6194936	158,865	p79	261575	6188285	150,35
p41	262349	6194033	144,753	p80	261414	6189033	136,7
p42	263941	6193104	134,641				

SIMBOLOGÍA BASE

Hidrografía

Drenaje
- Estero
- Quebrada Intermitente
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

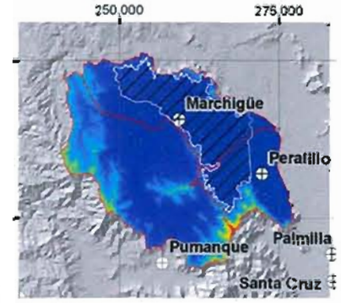
SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Unidad Análisis
- Límite SS Cca.

Administración del pozo
- Pozos

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
Máx. : 900
Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Ubicación de pozos catastrados en terreno

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina4.1_Ubicación de pozos.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

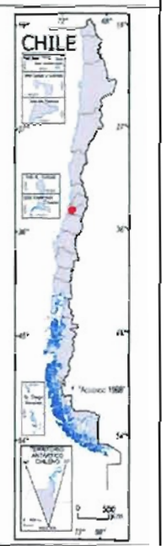


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
4.1 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000

Tabla 4.1: Pozos Catastrados en Campaña de Terreno.

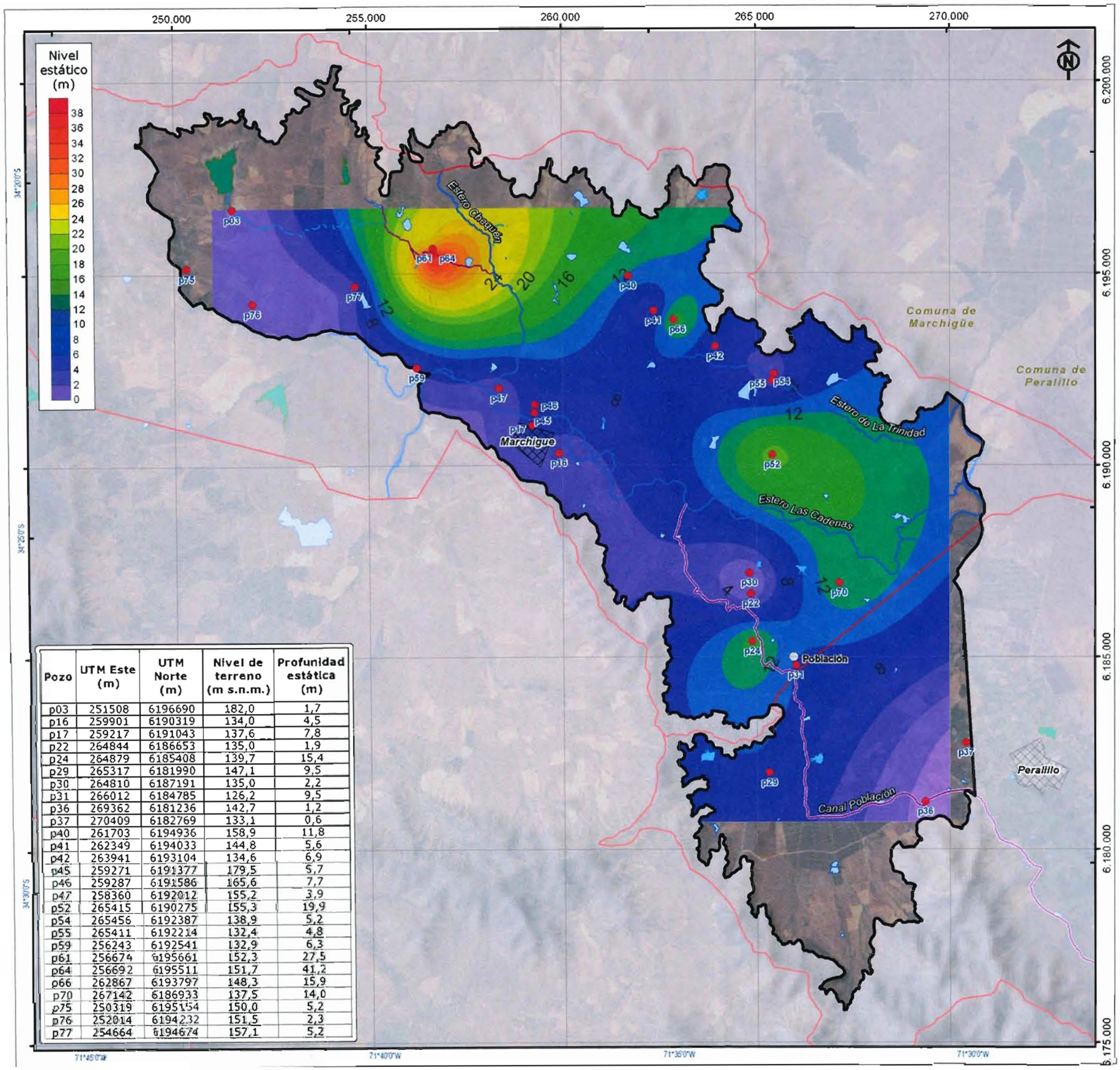
COD_VNA	ID	Coordenadas UTM 84		Nivel Terreno	Prof. Estática	Prof. Dinámica	Nivel Freático
		Este	Norte				
		(m)	(m)	(m.s.n.m.)	(m)	(m)	(m.s.n.m.)
ND-0603-3234	P02	250521	6196247	176	-	4,97	
ND-0603-3223	P03	251508	6196690	182	1,7	-	180,3
ND-0603-3223	P03	251508	6196690	182	-	2,4	-
VPC-0603-2005	P05	256186	6196024	158	-	49,75	-
ND-0603-2074	P06	255622	6196135	154	-	43,7	-
VPC-0603-2005	P08	255221	6196312	152	-	43,01	-
ND-0603-2155	P09	254555	6196362	156	-	47,38	-
No Registrado	P10	257251	6195281	139	-	73,49	-
ND-0603-2113	P12	258918	6194242	137	-	52,51	-
ND-0603-2098	P13	258923	6193849	137	-	53,22	-
ND-0603-2120	P14	259092	6193342	136	-	34,54	-
ND-0603-2098	P15	259927	6194072	149	-	57,18	-
ND-0603-3177	P16	259901	6190319	134	4,51	-	129,5
DGA Criadero de aves	P17	259217	6191043	138	7,76	-	129,8
VPC-0602-2017	P19	265651	6185132	135	-	18,5	-
ND-0602-2859	P20	264911	6185700	140	-	10,65	-
No Registrado	P21	265129	6185439	152	-	15,26	-
ND-0602-2862	P22	264844	6186653	135	1,91	-	133,1
ND-0602-2858	P23	264923	6186044	138	-	9,1	-
ND-0602-800017	P24	264879	6185408	140	15,4	-	124,3
ND-0602-1645	P25	268156	6183529	134	-	22,13	-
ND-0602-2171	P27	267786	6182996	135	-	26,11	-
ND-0602-695	P28	266798	6180866	140	-	11,75	-
ND-0602-2003	P29	265317	6181990	147	9,52	-	137,6
ND-0602-2857	P30	264810	6187191	135	2,16	-	132,9
ND-0602-3579	P31	266012	6184785	126	9,5	-	116,7
ND-0602-2839	P32	266376	6184643	130	-	8,56	-
ND-0602-2241	P33	267295	6183368	131	-	31,39	-
ND-0602-695	P34	267388	6181141	157	-	9,82	-
ND-0602-4610	P35	267389	6181265	157	-	6,73	-
ND-0602-4447	P36	269362	6181236	143	1,2	-	141,5
DGA Asentamiento San Isidro	P37	270409	6182769	133	0,58	-	132,5
ND-0602-3936	P38	270291	6182725	131	-	5,53	-
ND-0602-2416	P39	268814	6182378	138	-	9,54	-

COD_VNA	ID	Coordenadas UTM 84		Nivel Terreno	Prof. Estática	Prof. Dinámica	Nivel Freático
		Este	Norte				
		(m)	(m)	(m.s.n.m.)	(m)	(m)	(m.s.n.m.)
ND-0603-2956	P40	261703	6194936	159	11,77	-	147,1
ND-0603-4023	P41	262349	6194033	145	5,56	-	139,2
ND-0603-4040	P42	263941	6193104	135	6,87	-	127,8
ND-0603-3181	P43	268245	6190383	122	-	6,84	-
No Registrado	P45	259271	6191377	179,5	5,73	-	173,77
No Registrado	P46	259287	6191586	165,6	7,71	-	157,89
No Registrado	P47	258360	6192012	155,2	3,9	-	151,3
ND-0603-2108	P49	260606	6193469	161,2	-	58,6	-
ND-0603-2153	P50	259829	6192980	157,6	-	54,03	-
ND-0603-2047	P52	265415	6190275	155,3	19,87	-	135,43
ND-0602-3264	P54	265456	6192387	138,9	5,17	-	133,73
No Registrado	P55	265411	6192214	132,4	4,8	-	127,6
ND-0603-3486	P56	258413	6191105	134,1	-	10,56	-
ND-0603-2954	P57	256525	6192776	138,7	-	15,4	-
No Registrado	P58	256198	6192915	142,95	-	7,07	-
No Registrado	P59	256243	6192541	132,9	6,25	-	126,65
ND-0603-2099	P60	256108	6195810	156	-	65,85	-
ND-0603-2390	P61	256674	6195661	152,3	27,45	-	124,85
ND-0603-2383	P64	256692	6195511	151,7	41,16	-	110,54
ND-0603-3856	P66	262867	6193797	148,3	15,9	-	132,4
ND-0603-800047	P67	266916	6191472	131,6	-	27,37	-
No Registrado	P69	267479	6187536	139,5	-	11,42	-
No Registrado	P70	267142	6186933	137,5	14	-	123,5
No Registrado	P70	267142	6186933	137,5	-	39,52	-
ND-0602-2169	P71	268931	6186316	135,4	-	13,8	-
No Registrado	P72	268815	6184536	136,8	-	31,17	-
ND-0602-2861	P73	264694	6188216	133,5	-	5,51	-
ND-0603-2291	P74	259497	6190900	117,4	-	45,97	-
ND-0603-4081	P75	250319	6195154	149,98	5,16	-	144,82
ND-0603-3524	P76	252014	6194232	151,5	2,3	-	149,2
ND-0603-4064	P77	254664	6194674	157,1	5,21	-	151,89
ND-0602-2571	P78	266895	6185308	141,8	-	10,78	-
No Registrado	P80	261414	6189033	136,7	-	16,81	-

Al observar la Lámina 4.2 se puede notar que los puntos cercanos a cauces se encuentran influenciados por la infiltración desde el canal, el cual no está provisto de revestimiento. Esto no quiere decir que el tipo de suelo sea altamente permeable, sino que las aguas han infiltrado durante mucho tiempo (el canal Población comenzó a operar hace casi un siglo).

En la Lámina 4.3 se presenta las equipotenciales del acuífero, indicando el sentido de escurrimiento del de las aguas subterráneas.

Otro dato interesante se obtiene de la observación y consulta sobre el revestimiento que tienen los tranques construidos de la localidad, pues se nos señaló que en la mayoría de los casos no se necesitaba un revestimiento impermeabilizante pues el terreno mismo es poco permeable. Con respecto también a los tranques observados solamente el tranque Mallermo y el tranque Nº4 de Viña Montes son alimentados por aportantes naturales como lo son las quebradas, el resto son rellenados mediante bombeo de agua de la napa.



Pozo	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)	Profundidad estática (m)
p03	251508	6196690	182,0	1,7
p16	259901	6190319	134,0	4,5
p17	259217	6191043	137,6	7,8
p22	264844	6186653	135,0	1,9
p24	264879	6185408	139,7	15,4
p29	265317	6181990	147,1	9,5
p30	264810	6187191	135,0	2,2
p31	266012	6184785	126,2	9,5
p36	269362	6181236	142,7	1,2
p37	270409	6182769	133,1	0,6
p40	261703	6194936	158,9	11,8
p41	262349	6194033	144,8	5,6
p42	263941	6193104	134,6	6,9
p45	259271	6191377	179,5	5,7
p46	259287	6191586	165,6	7,7
p47	258360	6192012	155,2	3,9
p52	265415	6190275	155,3	19,9
p54	265456	6192387	138,9	5,2
p55	265411	6192214	132,4	4,8
p59	256243	6192541	132,9	6,3
p61	256674	6195661	152,3	27,5
p64	256692	6195511	151,7	41,2
p66	262867	6193797	148,3	15,9
p70	267142	6186933	137,5	14,0
p75	250319	6195154	150,0	5,2
p76	252014	6194232	151,5	2,3
p77	254664	6194674	157,1	5,2

SIMBOLOGÍA BASE

Asentamientos
- Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

Unidad Análisis
- Límite SS Cca.

Hidrografía

Drenaje
- Estero
- Quebrada Interm
- Canal

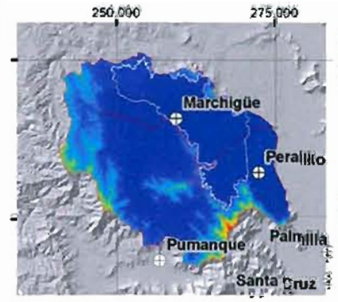
Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigue

Administración del pozo
- Privado (pxx)

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Isoprofundidad estática de pozos

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina4.2_Isoprofundidad estática de pozos.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000, Cartas F1-F2-F9-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía SIOP (2013)

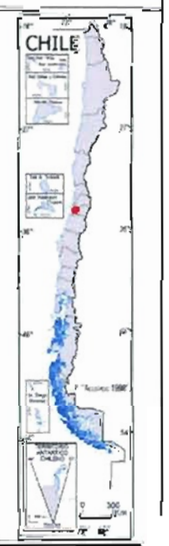
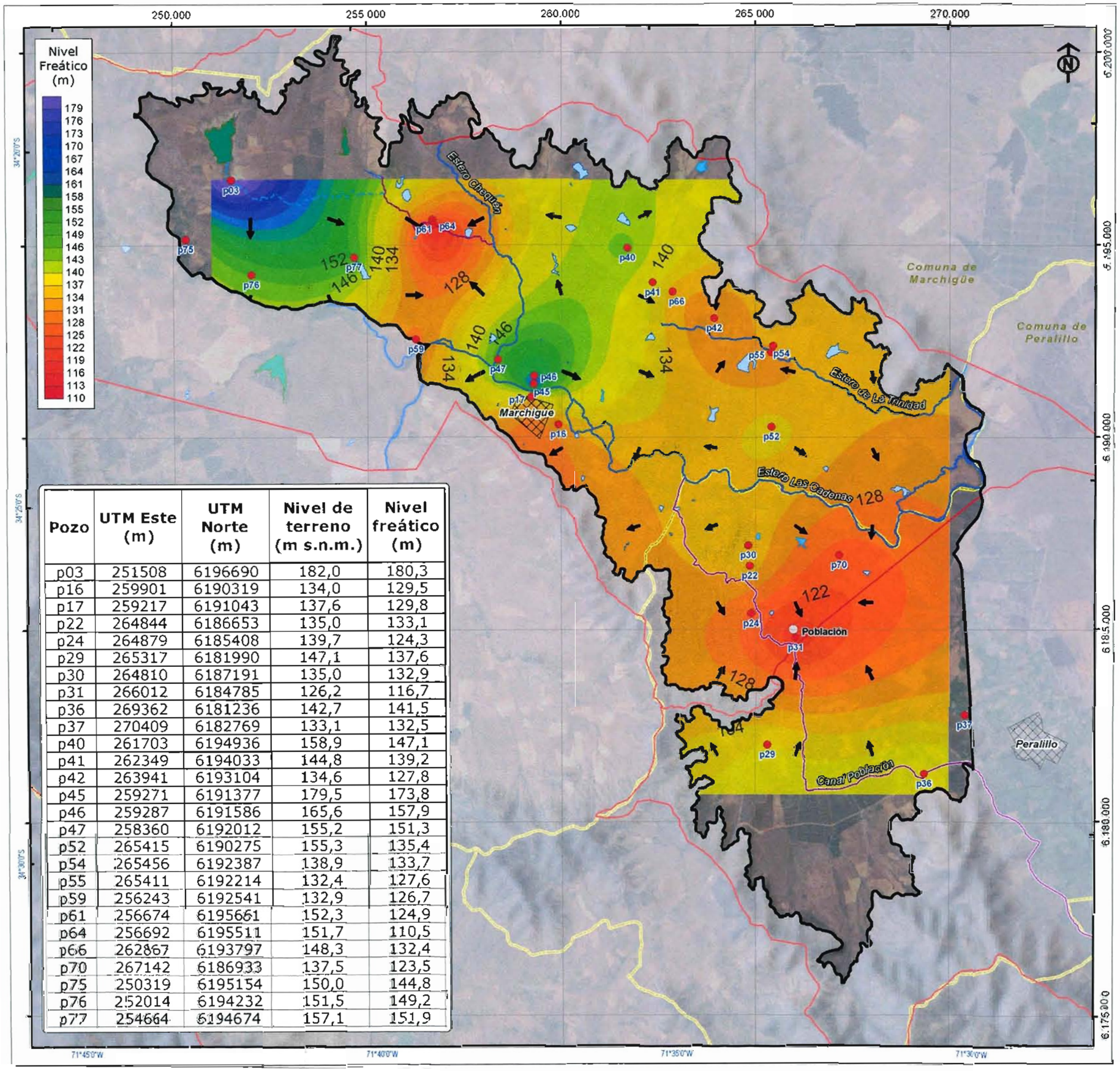


LÁMINA / VERS	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
4.2 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000



Pozo	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)	Nivel freático (m)
p03	251508	6196690	182,0	180,3
p16	259901	6190319	134,0	129,5
p17	259217	6191043	137,6	129,8
p22	264844	6186653	135,0	133,1
p24	264879	6185408	139,7	124,3
p29	265317	6181990	147,1	137,6
p30	264810	6187191	135,0	132,9
p31	266012	6184785	126,2	116,7
p36	269362	6181236	142,7	141,5
p37	270409	6182769	133,1	132,5
p40	261703	6194936	158,9	147,1
p41	262349	6194033	144,8	139,2
p42	263941	6193104	134,6	127,8
p45	259271	6191377	179,5	173,8
p46	259287	6191586	165,6	157,9
p47	258360	6192012	155,2	151,3
p52	265415	6190275	155,3	135,4
p54	265456	6192387	138,9	133,7
p55	265411	6192214	132,4	127,6
p59	256243	6192541	132,9	126,7
p61	256674	6195661	152,3	124,9
p64	256692	6195511	151,7	110,5
p66	262867	6193797	148,3	132,4
p70	267142	6186933	137,5	123,5
p75	250319	6195154	150,0	144,8
p76	252014	6194232	151,5	149,2
p77	254664	6194674	157,1	151,9

SIMBOLOGÍA BASE

Asentamientos
- Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

Unidad Análisis
- Límite SS Cca.

Hidrografía Drenaje
- Estero
- Quebrada Interm.
- Canal

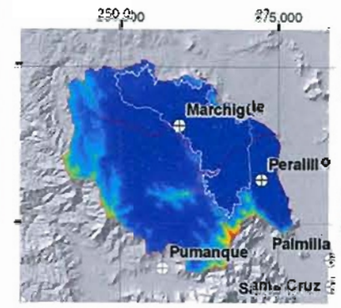
Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Datos disponibles
- Pozo Privado (pxx)
- Dirección del flujo

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

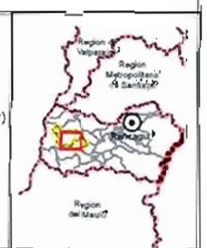
TEMA: Equipotenciales superficie del Nivel Freático

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina4.3_Equipotenciales superficie del Nivel Freático.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía Xyp (2013)



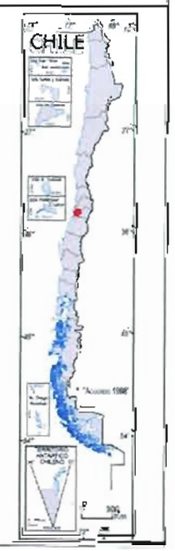


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
4.3 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000

4.2.5 Conclusiones y Comentarios

Los principales cursos de aguas se observaron secos, como es el caso del estero Chequén, Las Cadenas y Trinidad, solo presentaba caudal el canal Población, cuyas aguas son captadas fuera de la cuenca hidrográfica del estero Las Cadenas.

Se tomó contacto con las personas encargadas de la administración del canal Población quienes quedaron de facilitar información necesaria para el estudio. Lo mismo sucedió con los administradores de los pozos para consumo potable de las localidades visitadas.

Los tranques de la zona, en su mayoría, no son llenados por aguas superficiales (quebradas u otros cauces naturales en periodos de lluvia), sino por aguas subterráneas y almacenada en estos tranque para fines de regadío.

Se visitaron los lugares definidos por CNR y CP para posible localización de prototipos de balsas de infiltración, donde se registró su localización por GPS y también con registros fotográficos, uno de estos sitios se encuentra emplazado dentro de las propiedades de Viña Los Vascos, quienes se mostraron interesados en ayudar a la realización del proyecto y también de los alcances del mismo.

Cabe destacar la buena disposición de todas las personas entrevistadas en terreno para facilitar la información y permitir el acceso a sus propiedades con el fin de realizar las mediciones de los pozos.

4.3 Caracterización Litológica de Eventuales Puntos de Recarga

4.3.1 Actividades Realizadas

Durante Los meses de Enero y Febrero de 2014 se han desarrollado las siguientes labores de avance respecto a la exploración de sitios de emplazamiento de las alternativas piloto de recarga artificial.

- Excavación de 6 calicatas, mediante máquina retroexcavadora New Holland B95 (21 Enero 2014) más 9 calicatas y una caracterización litológica de una noria existente (25 al 28 de Febrero 2014). Los primeros sectores fueron elegidos considerando la cercanía al canal Población y la posibilidad de que se tratara de suelos de granulometrías gruesas. Mientras que la segunda exploración se realizó a partir de la información litológica aportada por los registros de inscripción de pozos de la DGA.

Tabla 4.2: Ubicación de Calicatas.

Lugar	Calicata Nº	Este UTM	Norte UTM	Cota (m.s.n.m.)	Profundidad (m)
Parcela José Fuentes	1	263.486	6.186.648	139	3,2
Parcela José Peñaloza	2	263.011	6.187.959	137	3
Viña Los Vascos	3	267.289	6.180.837	140	3,8
Puquillay	4	269.297	6.181.199	140	3,35
Parcela Héctor Silva	5	266.145	6.183.166	141	3,65
Fundo San Joaquín	6	263.147	6.188.953	123	4,5
Fundo San Guillermo	7	259.655	6.191.704	138	3,8
Fundo San Guillermo	8	258.615	6.191.827	139	4,2
José Flores	9	257.967	6.191.603	138,5	3,95
Los Maitenes	10	262.022	6.193.919	154	3,82
Hijuela 4B	11	256.509	6.192.797	142	4,25
Hijuela 4B	12	256.556	6.192.440	139	4,1
Hijuela 4B	13	256.375	6.192.397	143	4,8
Juan Navarro	14	256.639	6.195.619	151	3,8
Juan Navarro	15	256.401	6.195.450	150	3,96
Noria Alvino Moreno	-	256.378	6.192.825	140	6,3

El terreno estudiado se encuentra emplazado sobre las siguientes 4 Series:

(a) Cañetenes (CAT): suelo de origen coluvial, de textura franca (proporciones equivalentes de arena, limo y arcilla) y de pendiente plano inclinado; con gravilla angular común en todo en todo el perfil y sin estructura (macizo); el substrato está constituido por piedras subangulares y redondeadas de

composición mixta con matriz arcillo arenosa. Este suelo se asocia a la unidad geológica Qg (Depósitos Gravitacionales).

(b) Caleuche (CLC): suelo formado a partir de depositaciones volcánicas de origen pumicítico, de textura limo arenosa en profundidad. Este suelo se asociaría a la unidad geológica Qc (Depósitos Cineríticos).

(c) Pudahuel (PUD): de texturas franco arenosas (excedente de arenas) en superficie y profundidad. Esta serie se encuentra adosada a los piedemonte graníticos que bajan de la Cordillera de la Costa, ocupando una topografía de lomajes suaves, de cumbres casi planas y caídas fuertes hacia quebradas y esteros, con pendiente dominante es de 1% a 3% en las planicies altas y de 5% a 20% en los lomajes. El suelo se ha originado principalmente a partir de cenizas de tipo pumicítico, que han sido redepositadas por agua. Este suelo se asociaría a la unidad geológica Qc (Depósitos Cineríticos).

(d) Misceláneo Estero (ME): corresponde a terrenos existentes en el cauce de bordes de cursos menores de agua, muy delgados de topografía irregular, de drenaje pobre y sometido a inundaciones ocasionales. Este suelo se asociaría a la unidad geológica Qfal (Depósitos Fluvio-Aluvional).

4.3.2 Litología de las Calicatas Excavadas

Durante las labores de terreno se realizó una descripción geotécnica-geológica y clasificación USCS (Unified Soil Classification System) in situ para cada una de las calicatas. Para estas labores se utilizó una escalera de 3 (m), una huincha de 5 (m), cámara fotográfica, lupas 10x y 20x. Además, la excavación fue debidamente señalizada con cinta de peligro y posteriormente, a los ensayos de infiltración, fueron tapadas (ver Anexo D: Descripción Geotécnica Litológica).

Se excavaron seis calicatas en lugares cercanos al canal Población, escogidos previamente en gabinete para cubrir de manera representativa el área a investigar. Estos puntos se muestran en la Lámina 4.4.

La primera calicata se ubicó en un predio de propiedad de José Fuentes, como se muestra en la Figura 4.8.

Figura 4.8: Excavación de la Calicata N°1.

Retroexcavadora en operación en calicata N°1

En este lugar se observó que el terreno no era apto para las condiciones de infiltración, pues resultó imposible realizar manualmente la excavación cilíndrica mencionada anteriormente para realizar el ensayo de infiltración, pues el terreno era de una gran dureza, lo que implica una muy baja conductividad hidráulica.

250.000 255.000 260.000 265.000 270.000

6.200.000 6.195.000 6.190.000 6.185.000 6.180.000 6.175.000

34°20'0"S

34°30'0"S

71°45'0"W

71°30'0"W

Estero Chequén

Estero de La Trinidad

Estero Las Cadenas

Canal Población

Comuna de Marchigüe

Comuna de Peralillo

Marchigue

Población

Peralillo

P42

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Calicata	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Nivel de terreno (m s.n.m.)	ROL SII	Nombre del Predio SII
1	263.486	6.186.648	139,0	139-29	Parcela José Fuentes
2	263.011	6.187.959	137,0	65-18	Hijuela San José-San Joaquín
3	267.289	6.180.837	140,0	101-5	Canetenes De Puquillay Hijuela C
4	269.297	6.181.199	140,0	ST-22	Puquillay
5	266.145	6.183.166	141,0	139-6	Fundo Santa Julia Población Peralillo
6	263.147	6.188.953	123,0	65-15	Hijuela San Joaquín
7	259.655	6.191.704	138,0	73-90	El Bramadero (Ex Fundo San Guillermo)
8	258.615	6.191.827	139,0	73-87	La Junta (Ex Fundo San Guillermo)
9	257.967	6.191.603	138,5	72-9	Cadenas - Marchigue
10	262.022	6.193.919	154,0	64-13	La Hornilla Maitenes
11	256.509	6.192.797	142,0	73-96	Fundo Demasias Hijuela 4B (Los Maitenes)
12	256.556	6.192.440	139,0	73-96	Fundo Demasias Hijuela 4B
13	256.375	6.192.397	143,0	73-96	Fundo Demasias Hijuela 4B
14	256.639	6.195.619	151,0	73-8	Chequen
15	256.401	6.195.450	150,0	73-8	Chequen
Noria 16	256.378	6.192.825	140,0	73-11	Fundo Demasias Hijuela 4A

SIMBOLOGÍA BASE

Hidrografía

Drenaje
- Estero
- Quebrada Intermitente
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal

Poblado

Área urbana

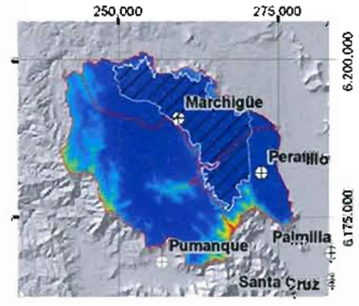
Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Tipo de Análisis
- Calicata

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 900
- Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Ubicación de calicatas

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina4.4_Ubicación de calicatas.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (07/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

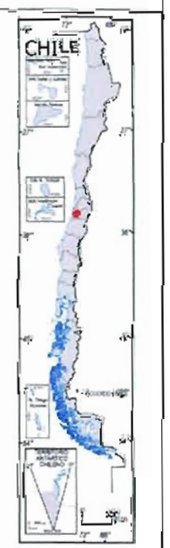
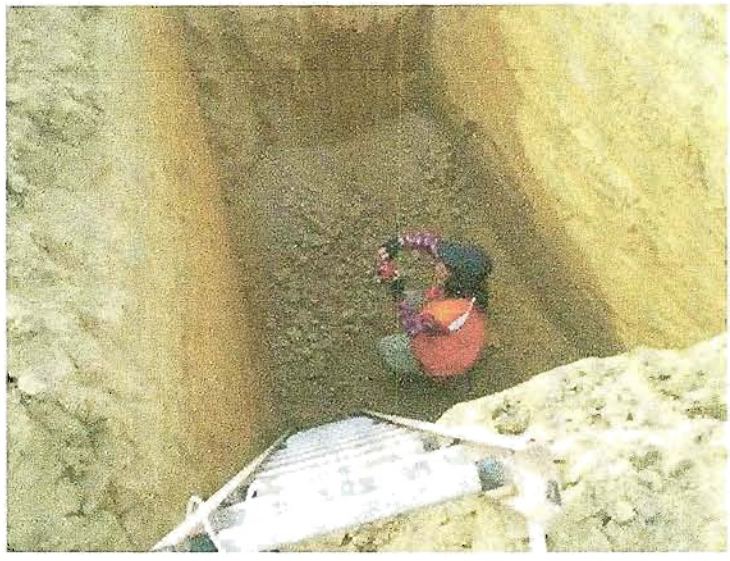


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
4.4 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 1.250 2.500 m

ESCALA 1:100.000

Figura 4.9: Interior de la Calicata N°1.



Equipo CP registrando fotográficamente calicata N°1

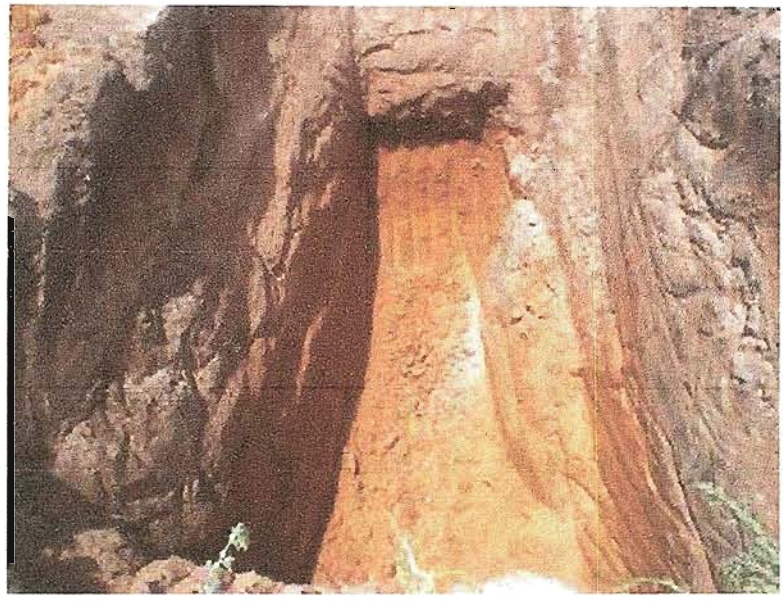
Se excavó la calicata N°2 en la localidad de José Peñaloza, como muestra la Figura 4.10, en esta calicata se logró realizar el ensayo de infiltración con el método de Porchet que aparece detallado más adelante.

Figura 4.10: Excavación de la Calicata N°2.

Equipo CP alrededor de calicata N°2

El tipo de suelo que se encontró en la calicata era del tipo arcilloso, como se puede observar en la Figura 4.11.

Figura 4.11: Interior de la Calicata N°2.



Fotografía del interior de calicata N°2

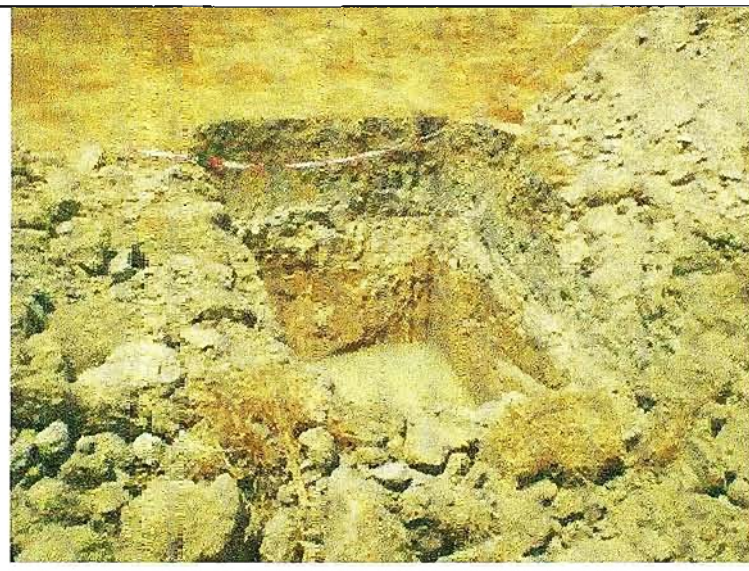
En la viña Los Vascos se excavó la Calicata Nº3 de 3,8 (m) de profundidad, como muestra la Figura 4.12, en este lugar no se logró hacer ensayos de infiltración debido a que presentaba una inundación de 1,78 (m) en un intervalo de tiempo de 20 horas desde que se excavó la calicata hasta que se acudió a realizar el ensayo.

En la Figura 4.13, se muestra la inundación dentro de la calicata.

Figura 4.12: Excavación de la Calicata N°3.

Retroexcavadora en operación en calicata N°3

Figura 4.13: Interior de la calicata N°3, Inundada.



Fotografía del interior de calicata N°3, se observa el afloramiento

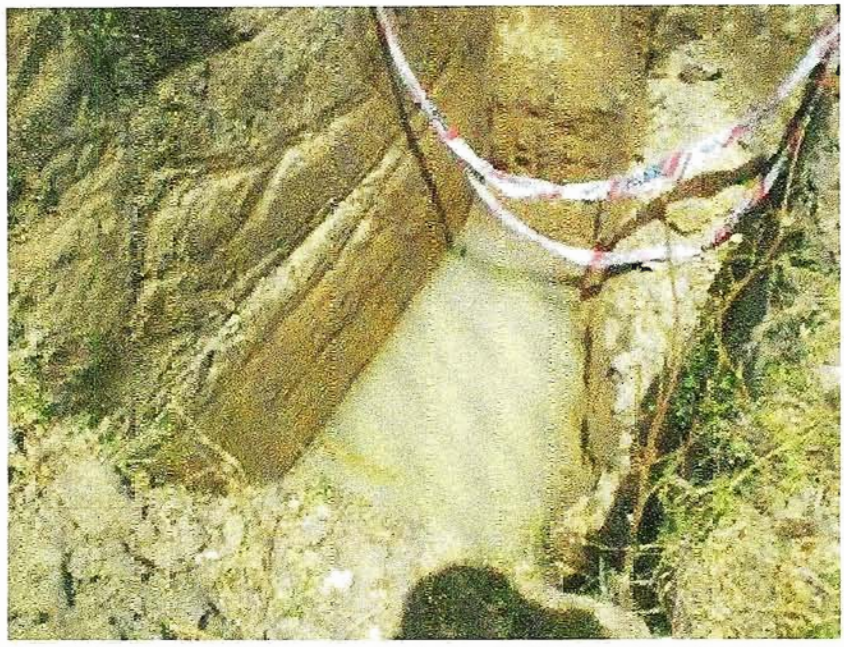
En el sector de Puquillay se realizó la calicata Nº4 de profundidad 3,35 (m), que se muestra en la Figura 4.14. Este lugar también sufrió la inundación de aguas subterráneas, probablemente infiltradas desde el canal Población, pues presentaba una inundación de 0,65 (m) en un intervalo de tiempo de 19 horas desde que se realizó la calicata hasta cuando se quiso realizar el ensayo de infiltración, como muestra la Figura 4.15.

Figura 4.14: Excavación de la Calicata Nº4.

Retroexcavadora en operación en calicata N°4

La calicata Nº5, de profundidad 3,65 (m), que se realizó en un predio de propiedad de Héctor Silva, presentó de inmediato una inundación dentro de ella, la cual se incrementó notoriamente durante el período entre la excavación y el momento que se acudió a realizar el ensayo de infiltración, llegando a un nivel de inundación de 2,25 (m) en un total de 18 horas como se muestra en la Figura 4.16.

Figura 4.15: Interior de la Calicata N°4, Inundada.



Fotografía del interior de calicata N°4, se observa el afloramiento

Figura 4.16: Interior de la Calicata N°5, Inundada.

Fotografía del interior de calicata N°5, se observa el afloramiento

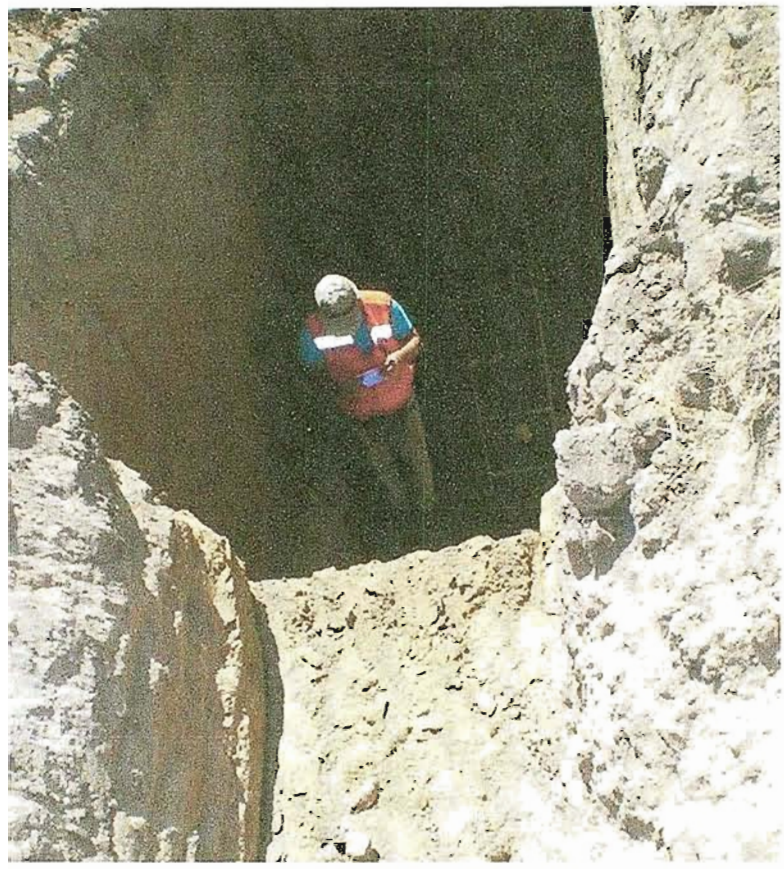
En la viña San Joaquín se excavó la calicata N°6, que presentó condiciones básicas apropiadas para realizar el ensayo de infiltración. En la Figura 4.17 se muestra la calicata mencionada.

Figura 4.17: Calicata N°6.

Fotografía del interior de calicata N°6

En la Figura 4.18 se muestra la primera calicata realizada en el Fundo San Guillermo, ubica a unos 500 metros en línea recta del Estero Las Cadenas. Con una profundidad de 3.2 (m). En esta calicata no fue posible desarrollar el ensayo de infiltración debido a la dureza del terreno, conocida localmente como Tosca.

Figura 4.18: Calicata N°7.



Equipo CP al interior de calicata N°7

En la Figura 4.19 se muestra la segunda calicata realizada en el Fundo San Guillermo, ubica a unos 400 metros en línea recta del Estero Las Cadenas. Con una profundidad de 3 m. Luego de 5 horas el piso de la calita se encontraba inundado por lo que no se pudo realizar el ensayo de infiltración.

La Figura 4.20 presenta la calicata realizada en la Parcela de José Flores con una profundidad de 3,95 (m). En esta calicata no fue posible desarrollar el ensayo de infiltración debido a la dureza del terreno, conocida localmente como Tosca.

Figura 4.19: Calicata N°8.

Retroexcavadora en operación en calicata N°8

Figura 4.20: Calicata N°9.

Fotografía del interior de calicata N°9

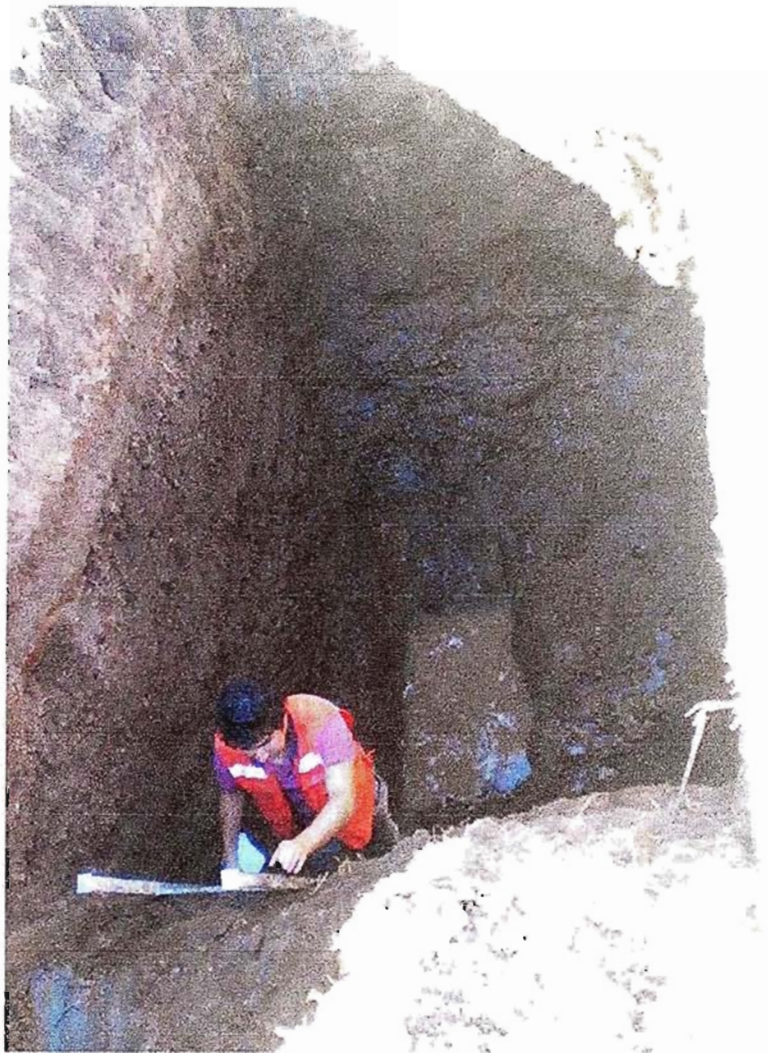
La Figura 4.21 muestra las labores que se realizaron para realizaron para la calicata ubicada en el sector de los Maitenes cercana al Estero Trinidad, a una profundidad de 3,82 (m). En esta calicata se logró realizar el ensayo de infiltración con el método de Porchet que aparece detallado más adelante.

Figura 4.21: Calicata N°10.

Retroexcavadora en operación en calicata N°10

En la Figura 4.22 se muestra la primera calicata realizada en el sector Demasías ubicada a unos 400 (m) del Estero Las Cadenas, con una profundidad de 4,25 (m). En esta calicata no se pudo realizar el ensayo de infiltración puesto que el fondo se inundó.

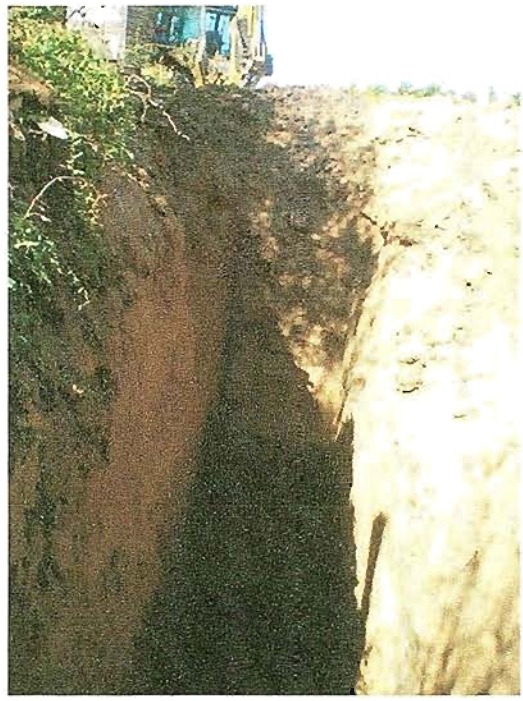
Figura 4.22: Calicata N°11.



Equipo CP al interior de calicata N°11, se observa el afloramiento

En la Figura 4.23 se presenta la segunda calicata realizada en el sector de Demasías ubicada a unos 40 (m) del Estero las Cadenas, con una profundidad de 4.1 (m). No fue posible realizar el ensayo de infiltración puesto que se encontró la presencia de un material azuloso altamente plástico e impermeable (ver Figura 4.24).

Figura 4.23: Calicata N°12.



Fotografía del interior de calicata N°12

Figura 4.24: Material Encontrado en Calicata N°12.

Material azuloso altamente plástico e impermeable

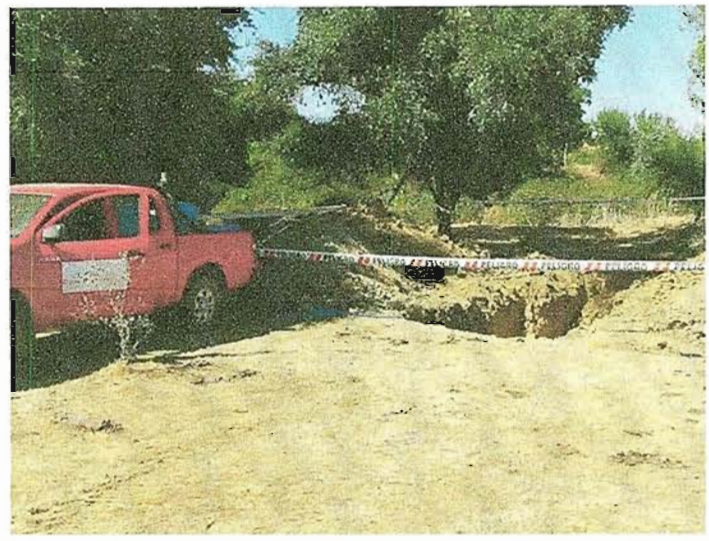
En la Figura 4.25 se presenta la tercera calicata realizada en el sector de Demasías ubicada a unos 150 (m) del Estero las Cadenas, con una profundidad de 4,8 (m). Se realizó un ensayo de infiltración tipo Porchet pero no se observan descenso del nivel.

Figura 4.25: Calicata N°13.

Fotografía del interior de calicata N°13

En la Figura 4.26 se presenta la primera calicata realizada en el terreno de Juan Navarro a unos 20 (m) del Estero Chequén, con una profundidad de 3,8 (m). En esta calicata fue posible realizar un ensayo de infiltración de tipo caudal constante.

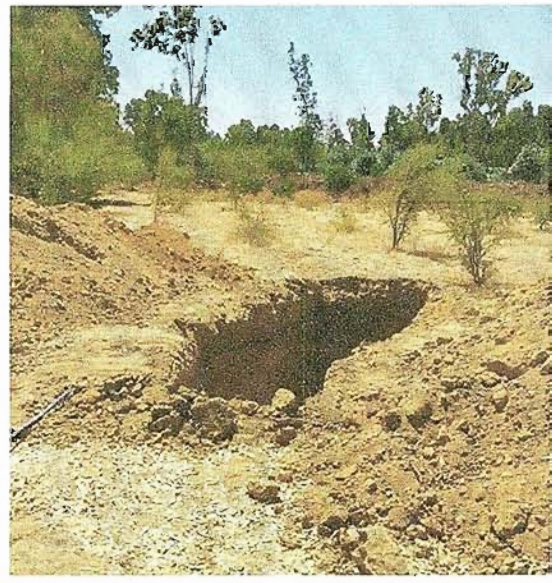
Figura 4.26: Calicata N°14.



Equipo CP alrededor de calicata N°14

En la Figura 4.27 se presenta la segunda calicata realizada en el terreno de Juan Navarro a unos 40 (m) del Estero Chequén, con una profundidad de 3,96 (m). En esta calicata fue posible realizar un ensayo de infiltración de tipo Porchet.

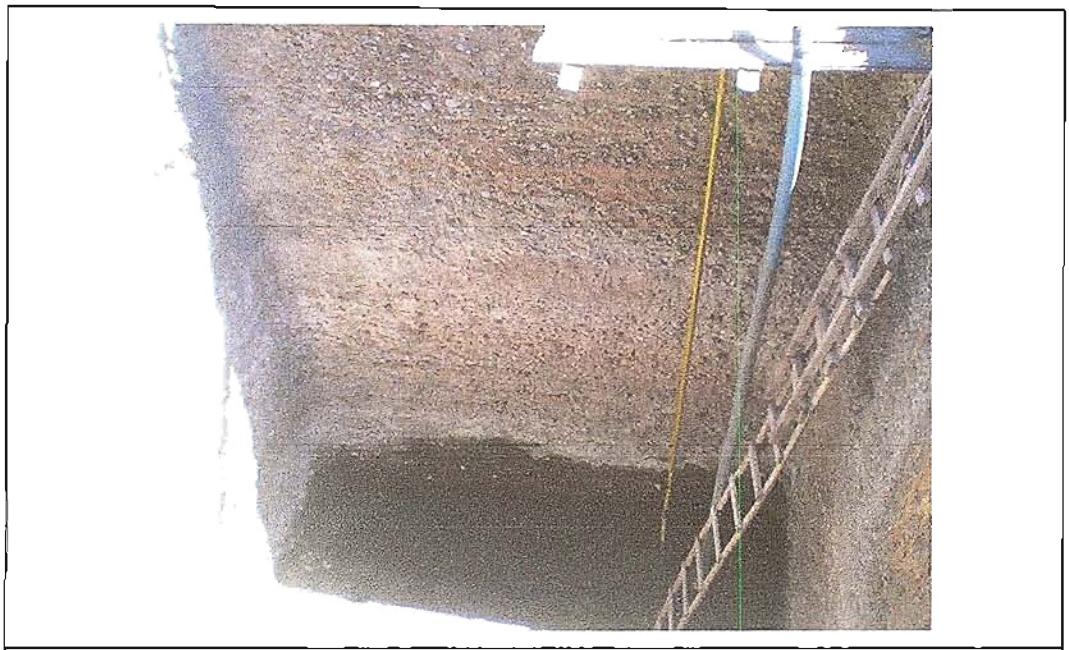
Figura 4.27: Calicata N°15.



Fotografía de la calicata N°15

La Figura 4.28 muestra una de las caras de la Noria perteneciente a Don Albino Moreno de 6,2 (m) de profundidad. Esta se encuentra ubicada a 450 (m) del Estero Las Cadenas. En esta noria de realizó un ensayo de infiltración tipo Porchet, cuyo resultados será descrito en la siguiente sección.

Figura 4.28: Noria Albino Moreno.



Fotografía del interior noria de Albino Moreno

4.4 Ensayos de Infiltración

4.4.1 Introducción

A continuación se presenta información detallada acerca de las pruebas de infiltración de agua que se planificó realizar en seis puntos cercanos al canal Población y se muestran los resultados obtenidos en estos a través de tablas y gráficos.

La realización de estas pruebas de campo es relevante para caracterizar la capacidad de infiltración de los estratos más superficiales del terreno, parámetro que a su vez indicará la aptitud de esos sectores para emplazar una balsa de

infiltración, que es uno de los dispositivos para efectuar la recarga artificial de acuíferos.

4.4.2 Marco Teórico

El objetivo de los ensayos es obtener el valor de la conductividad hidráulica (Kfs) saturada de un suelo. Para ello se ocuparon dos de los métodos de campo: (1) el de pozo de nivel constante y (2) el método de Porchet.

Respecto del método del pozo de nivel constante, se puede decir que es uno de los métodos más precisos para medir la capacidad de infiltración de un suelo. Consiste en cavar un pequeño pozo cilíndrico y saturarlo con agua, para luego mantener constante la altura de agua dentro del pozo, mediante el empleo del permeámetro de Guelph, instrumento que funciona con el principio de Mariotte (ver Anexo E).

4.4.3 Ensayo de Infiltración en Calicata Nº2

El segundo método de campo que se utilizó para medir la infiltración fue el método de nivel variable o de Porchet que consiste en realizar una excavación cilíndrica de dimensiones similares al del método anterior, procediendo luego a llenarla de agua registrando el descenso del nivel de agua en el tiempo. En condiciones de saturación, la velocidad de infiltración debería ser prácticamente constante.

Los resultados obtenidos se ingresan a la ecuación de Darcy:

$$Q = A_{ef} \cdot K_{fs}$$

Como se tienen los datos de ΔH y de Δt se puede obtener la velocidad de infiltración v que debería ser constante y con ella se puede obtener el caudal de infiltración Q y el área efectiva de infiltración A_{ef} como se muestran a continuación:

$$Q = -\pi \cdot R^2 \cdot \frac{dH}{dt}$$

$$A_{ef} = \pi \cdot R^2 + 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H(t)$$

$H(t)$ = altura en función del tiempo

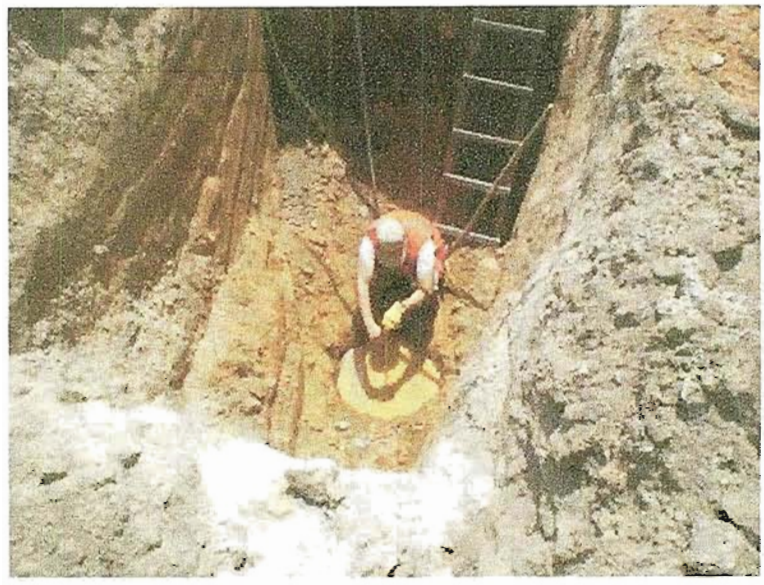
La Figura 4.29 muestra este ensayo cuyos resultados se resumen en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Ensayo de infiltración en calicata N°2.

Tiempo (min:seg)	Nc (cm)
1:00	0
2:00	0
3:00	0
4:00	0
5:00	0
6:00	0
7:00	0
8:00	0
9:00	0
10:00	0
11:00	0
12:00	0
13:00	0
14:00	0
15:00	0
16:00	0
17:00	0
18:00	0
19:00	0
20:00	0
21:00	0
22:00	0
23:00	0
24:00	0
25:00	0

Se puede observar que durante este ensayo no hubo infiltración apreciable, lo que implica una conductividad prácticamente nula.

Figura 4.29: Ensayo de infiltración en Calicata N°2.



Equipo CP al interior de calicata N°2, realizando ensayo de infiltración

4.4.4 Ensayo de Infiltración en Calicata N°6

En la calicata N°6 se realizó un ensayo de infiltración. El procedimiento, como se mencionó anteriormente, comenzó con la excavación de un espacio cilíndrico de 60 (cm) de diámetro y 58 (cm) de profundidad. Sobre esta excavación se apoyó una base de aluminio de 0,2 (cm) de grosor y una escalera de 4,5 (cm) de grosor, colocado horizontalmente, como se muestra en la Figura 4.30.

La colocación de estos elementos era necesaria pues el permeámetro tiene un largo de 60 (cm) en su parte inferior por lo que no cabía dentro de la excavación cilíndrica del fondo, que tenía 2 (cm) menos de altura que el instrumental. La escalera se ubicó de tal manera que el permeámetro quedara hacia la orilla de la excavación cilíndrica, pues su salida de agua era un codo que de esta manera apuntaba hacia el centro para evitar posibles erosiones en el suelo natural de la excavación cilíndrica. En la Figura 4.30 se muestra la base y la escalera sobre la excavación, en tanto en la Figura 4.31 se muestra el permeámetro montado sobre la excavación.

Figura 4.30: Calicata N°6, Excavación Cilíndrica para Ensayo de Infiltración.

Realización del ensayo de Infiltración

Figura 4.31: Calicata N°6, Permeámetro de Guelph.

Realización del ensayo de infiltración

Figura 4.32: Calicata N°6, Ensayo de Infiltración.

Equipo CP al interior de calicata N°6, realizando ensayo de infiltración

En primer lugar se fijó la altura a la que se quiere mantener el nivel de agua en el pozo constante, en el primer caso para una altura de 30 (cm), luego se tapa el permeámetro completamente, dejando abierta sólo una tapa para llenarlo con agua, para asegurar que se notará el nivel de agua se vierte en el interior tinta china de color negro y se procede a rebasar el permeámetro con agua, proveniente de estanques ubicados fuera de la calicata, como se muestra en la Figura 4.33.

Posteriormente se cierra el permeámetro totalmente y se prepara para tomar las mediciones, una vez listo se destapa el permeámetro desde su parte inferior y comienzan a tomarse las mediciones de descenso del nivel de agua en el permeámetro a través de una regla adosada a él, mediciones de tiempo y cada cierto tiempo mediciones de nivel de agua en el pozo tomadas desde la base de aluminio hasta el nivel de agua ya que todo esto es válido mientras el nivel de agua en el pozo se mantenga constante. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 4.4, donde Np es el nivel del agua en el permeámetro y Nc

el nivel del agua dentro de la excavación cilíndrica practicada al fondo de la calicata, medida desde el piso de la calicata.

Tabla 4.4: Primer Ensayo de Infiltración en Calicata Nº6.

Tiempo (min:seg)	Np (cm)	Nc (cm)
0	0	30
1:25	10	30
2:05	10.5	
3:27	11	
4:12	11.5	
5:38	12	33
6:33	12.5	
8:03	13	
9:26	13.5	
10:21	14	
11:13	14.5	
12:12	15	32
13:29	15.5	
14:15	16	
15:07	16.5	
16:17	17	
17:18	17.5	30
18:23	18	
19:11	18.5	
20:03	19	
20:56	19.5	
22:13	20	
23:19	20.5	29
24:14:00	21	
25:17:00	21.5	
26:14:00	22	
27:08:00	22.5	
28:03:00	23	29
28:58:00	23.5	
29:56:00	24	
30:54:00	24.5	
31:56:00	25	

Se puede observar que desde la altura de 15 (cm) hasta los 20 (cm) se cumple con un intervalo de tiempo relativamente constante a excepción del registrado entre las alturas 18 (cm) y 19 (cm). Esto podría deberse a que el estanque del permeámetro no era perfectamente cilíndrico o a algún imprevisto dentro de las condiciones del terreno.

La regla adosada al permeámetro, que sirvió para tomar los datos, se muestra en la Figura 4.34.

Figura 4.33: Camioneta con Estanques de Agua.

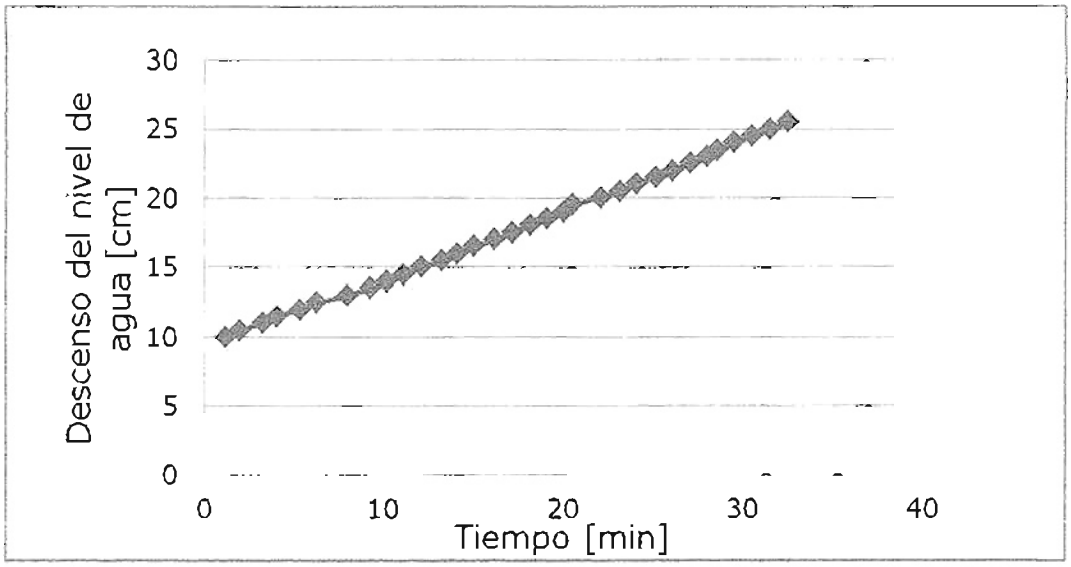
Equipo CP en terreno

Figura 4.34: Regla Adosada al Permeámetro.

Regla en permeámetro de Guelph

En la Figura 4.35 se muestran los resultados de este ensayo. Es importante notar que el gráfico debe ser lineal, ya que la velocidad de salida del agua desde el permeámetro es constante.

Figura 4.35: Primer Ensayo de Infiltración en Calicata N°6.



Dado que la velocidad de escurrimiento, obtenida del gráfico, es de $8{,}2x10^{-3}$ (cm/s) y el área de la sección del permeámetro es de 962 (cm^2) (35 (cm) de diámetro), el cálculo entrega un caudal de salida desde el permeámetro de 7,9 (cm^3/s),

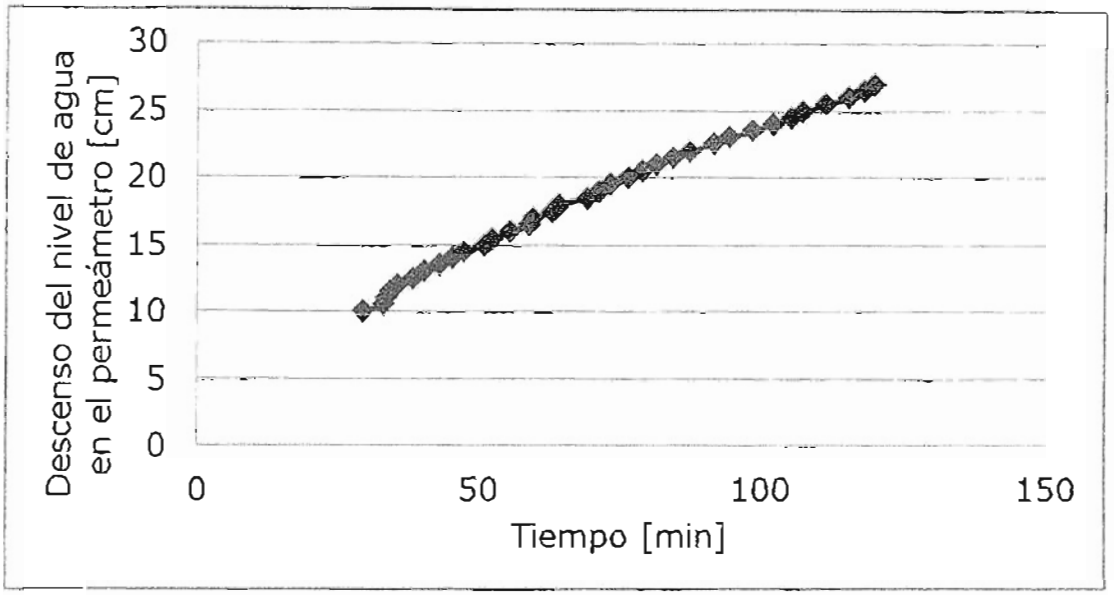
Por otro lado, como se conocen el radio y la altura del nivel de agua en el pozo, que son iguales a 30 (cm), entonces se obtiene que la constante C es igual a 0,49 y que α es igual a 0,12 (cm^{-1}) debido al tipo de suelo donde se realizó el ensayo. Por lo tanto, se obtiene según la ecuación de Reynolds el siguiente valor para la conductividad hidráulica:

$$K_{fs} = 4{,}5 \cdot 10^{-4}\ (cm/s)$$

Luego se realizó un segundo ensayo ya que existían dudas de que el suelo estaba totalmente saturado en el primer ensayo. Este segundo ensayo se realizó con una altura fija de 40 cm desde el fondo del pozo hasta el nivel superior.

El terreno para este ensayo se mostró inestable y comenzó a desmoronarse en el interior de la excavación cilíndrica, depositándose suelo en su parte inferior alterando el nivel de agua. Los resultados de este ensayo se presentan en la Figura 4.36 se puede observar que las condiciones sobre las que se debería aplicar este método en este caso no se cumplen pues el nivel de agua en el pozo es variable.

Figura 4.36: Segundo Ensayo de Infiltración en Calicata Nº6.



A partir de estos datos se calcularon distintos K_i para tres intervalos de tiempo diferentes; el primero entre los 10 y 11,5 (cm) para valores de Np, el segundo entre los 15,5 y 19,5 (cm) y el tercero entre los 22 y 27 (cm).

La altura para este caso varía para cada intervalo, es por esto que se adjunta la Tabla 4.6 con los valores de caudal, intervalo de Np, altura de agua en el pozo, constante C y valor de K_i.

Tabla 4.5: Segundo Ensayo de Infiltración en Calicata N°6.

Tiempo (min:seg)	Np (cm)	Nc (cm)
0	0	20
29:40:00	10	10
33:10:00	10.5	
33:51:00	11	
34:34:00	11.5	
35:55:00	12	
38:25:00	12.5	
40:51:00	13	7.5
43:22:00	13.5	
45:37:00	14	
47:44:00	14.5	
51:02:00	15	
52:38:00	15.5	6
55:56:00	16	
59:10:00	16.5	
59:59:00	17	
63:04:00	17.5	
64:16:00	18	
69:23:00	18.5	
71:36:00	19	
73:20:00	19.5	5
76:56:00	20	
79:02:00	20.5	
81:39:00	21	
84:40:00	21.5	
87:45:00	22	
91:58:00	22.5	
94:39:00	23	
98:58:00	23.5	3
102:11:00	24	
105:31:00	24.5	
107:24:00	25	
111:39:00	25.5	
115:52:00	26	
118:23:00	26.5	
120:00:00	27	

Tabla 4.6: Segundo Ensayo de Infiltración en Calicata N°6.

Dato	Caudal (cm^3/s)	Intervalo Np (cm)	Nivel del agua H (cm)	Constante C	K_i(cm/s)
K_1	4.3	[10-11.5]	48	0.77	1.7*10-4
K_2	3.1	[15.5-19.5]	52.5	0.83	$1.0*10^{-4}$
K_3	2.4	[22-27]	55	0.87	$8.6*10^{-5}$

4.4.5 Conclusiones

De las seis calicatas realizadas sólo en dos de ellas se dieron las condiciones necesarias para efectuar ensayos de infiltración, en una de ellas se realizó el método de pozo de nivel constante y en la otro el método de Porchet.

En la calicata N°6 se realizaron dos ensayos, en el primero, con una carga de agua de 30 (cm), se obtuvo un valor para el K_{fs} de $4{,}5 \cdot 10^{-4}\,(cm/s)$, aunque probablemente no se cumplían las condiciones de saturación previa del suelo.

En el segundo ensayo, esta vez con una carga de agua dentro del pozo de 40 cm se obtuvieron resultados más desfavorables ya que el terreno se tornó inestable en el interior de la excavación, alterando las condiciones de medición, lo que impidió calcular un valor real del K_{fs} ya que las condiciones básicas de este ensayo no se cumplían. Por otra parte, después de 45 minutos que una vez terminado el ensayo, no era apreciable que el agua se infiltrara en el suelo. De todas maneras se calculó un K_i para tres intervalos de tiempo [min:seg], K_1 corresponde al intervalo [29:40-34:34], K_2 corresponde al intervalo [52:38-73:20] y K_3 corresponde al intervalo [87:45-120:00] en los cuales se mantenía relativamente constante la altura del agua del pozo obteniéndose los siguientes resultados:

$$K_1 = 1.7 \cdot 10^{-4}$$
$$K_2 = 1.0 \cdot 10^{-4}$$

$$K_3 = 8.6 \cdot 10^{-5}$$

En el caso del ensayo realizado con el método de Porchet (calicata N°2) no se registró un descenso apreciable del nivel de agua, lo que implica que la permeabilidad es extremadamente baja.

De las cuatro calicatas restantes se puede decir que en una de ellas se encontró un suelo compuesto de una tosca tan dura que impedía incluso la excavación para realizar el ensayo y en las demás fue imposible realizar un ensayo de infiltración debido a las condiciones de inundación que se verificaban en todas ellas.

4.5 Calidad de las Aguas

4.5.1 Metodología de Muestreo de Aguas Frías

La metodología de muestreo geoquímico descrita en el presente documento ha sido desarrollada con el objetivo de simplificar lo más posible los procedimientos en el campo, donde a menudo se opera en condiciones incómodas o ambientalmente difíciles. Las simplificaciones aplicadas no afectan, sin embargo, a la calidad de las muestras recolectadas.

Antes de proceder al muestreo se analizan todos los puntos de afloramientos de interés presentes en el área de estudio tanto superficiales (manantiales, vertientes, ríos, esteros, canales, etc.) como subterráneos (pozos, túneles, etc.), determinando en la medida de lo posible su temperatura, pH y demás parámetros químico-físicos como la conductividad eléctrica, para seleccionar el o los puntos más adecuados y representativos para la toma de muestras.

A partir de la visita a terreno realizada el día 8 de enero de 2014, se determinó que se podía obtener una muestra de las aguas del canal Población (superficial) y otra de un pozo en bombeo (subterránea), ambas recolectadas en el sector de Santa Ana. En este lugar se ha gestionado previamente permisos de acceso y,

por lo demás, las muestras servirán para caracterizar tanto al agua proveniente del acuífero así como una posible fuente de recarga, si es que se utiliza en la próxima campaña de infiltración las aguas del canal por su disponibilidad.

Comúnmente un muestreo para investigaciones geoquímicas básicas requiere la recolección de las siguientes muestras de agua:

- 500 (ml) de agua filtrada, no acidificada, para análisis de aniones, SDT y pH en laboratorio.
- 500 (ml) de agua filtrada y acidificada hasta un pH < 3 con HNO_3 concentrado, para análisis de cationes, sílice y principales elementos en trazas (metales).

Además, el procedimiento de recolección de muestras considera los siguientes pasos:

- **Preparación de los envases de forma previa a la salida de campo.** En general, las botellas de polietileno (plástico de alta densidad) son tratadas por treinta minutos con una solución de ácido sulfúrico y, posteriormente, con ácido nítrico. Luego, los envases son enjuagados con agua potable para, finalmente, ser lavados nuevamente con agua destilada. Finalmente, los envases se encuentran listos para ser secados en el horno a temperaturas de 60°C, aproximadamente. Para esta Etapa del proyecto, se solicitó al Laboratorio Sanitario Carlos Latorre preparar 2 kits de manera previa a la visita de terreno del 21 de enero de 2014. Acorde a lo cotizado respecto a los análisis comprometidos, el laboratorio despachó un cooler con los implementos requeridos (cada kit consideró 5 botellas plásticas debidamente etiquetadas identificando en cada uno el respectivo análisis que se aplicará en dependencias del laboratorio).
- **Toma de muestra de agua en terreno junto con la medición de parámetros fisicoquímicos in situ.** Se deben seguir algunas indicaciones como que: la muestra debe ser tomada, en lo posible,

directamente con el frasco que se enviará al laboratorio; se debe elegir un lugar de la fuente que sea representativo, no muy en la orilla en los cauces de agua, lagos o laguna; si es bombeada de un pozo, se debe hacer correr el agua lo suficiente para evitar contaminación producida por la bomba o ductos; se debe tomar con el frasco sin ácido tres veces, las dos primeras se elimina el agua, lo que sirve para ambientar el envase, el tercer llenado es el que se envía al laboratorio; si el frasco tiene algún tipo de ácido se llena directamente desde una jarra ambientada, etc. Se procede también a la recopilación de una ficha de caracterización del sitio de muestreo así como de observaciones de las aguas muestreadas (color, olor, transparencia/turbidez; presencia de algas, sedimentos, etc.).

- **Traslado del envase al laboratorio donde finalmente se conserva para los posteriores análisis**. Es importante que la muestra llene completamente la botella, evitando que quede aire y/o burbujas en su interior; el etiquetado debe ser reforzado con huincha adhesiva transparente para evitar que se borre el código de la muestra; una vez tomada la muestra se debe mantener a una temperatura aproximada de 4ºC, en un cooler o similar con hielo en su interior, de no ser posible esto, la muestra debe mantenerse lo más fresca posible durante el trayecto al laboratorio, es decir, aislada de fuentes directas de calor. El día 21 de enero inmediatamente realizado el muestreo se procedió a trasladar las muestras vía bus hacia Santiago, siendo éstas recepcionadas en el Laboratorio Sanitario Carlos Latorre casi al término de la jornada, aproximadamente a las 16:30 (h).

En el Anexo F se presentas los aspectos relevantes de la Norma Chilena Oficial Nº 1.333 Of. 78 de 1978 (NCh-1.333)

4.5.2 Actividades Realizadas

Se realizaron las siguientes actividades:

- Extracción de 2 muestras de agua con fecha 21 de enero de 2014, en terrenos de la localidad de Santa Ana.
  - -Parcela Jose Fuentes (264.780E / 6.186.149N / 135 (m)). Corresponde a un pozo de 40 (m) de profundidad, habilitado en tubería de PVC ranurada. Se muestreó durante el bombeo continuo, obteniéndose un agua transparente, sin olor, con algo de arena. Agua subterránea.
  - -Canal Población (264.727E / 6.186.272N / 137 (m)). El muestreo se realizó junto al marco partidor N°29-B del Canal Población, a unos 100 (m) de la parcela anterior. El agua estaba turbia verdosa, presencia abundante de algas y vegetación, residuos orgánicos, sedimento muy fino tipo ceniza. Agua superficial.
- Envío de ambas muestras al Laboratorio Sanitario Carlos Latorre con fecha 21 de enero de 2014, para los análisis de: nivel de oxígeno (oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno), metales (aluminio, arsénico, boro, cadmio, calcio, cobalto, cobre, cromo, fierro, potasio, magnesio, manganeso, mercurio, molibdeno, sodio, níquel, plata, plomo y zinc), eutrofización (nitrógeno total, fósforo de ortofosfato), microbiológicos (coliformes fecales), sustancias disueltas (conductividad eléctrica, cloruros, sulfatos y pH), parámetros físicos (sólidos suspendidos totales, temperatura) y otros parámetros (aceite y grasa).
- Acorde a lo comunicado por el laboratorio mencionado, los resultados de los análisis deben estar disponibles en no menos de 10 días hábiles a partir de la recepción de las muestras, es decir, a partir del martes 4 de febrero de 2014.

4.5.3 Resultados Análisis de Calidad de Agua.

De los resultados de calidad de agua se observa que los parámetros muestreados cumplen con la Norma Chilena de Riego, a excepción de los siguientes:

- **Resultados Pozos:**
  - Magnesio: 25.6 (mg/L) con un límite aceptable de 0.2 (mg/L)
  - Sodio porcentual: 48.9% con un límite aceptable de 35%

- **Resultados Canal:**
  - Magnesio: 12.7 (mg/L) con un límite aceptable de 0.2 (mg/L)
  - Coliformes fecales: >1600 (mg/L) con un límite aceptable de 1000 (mg/L)
  - Presencia de Escherichia Coli.

Es necesario señalar que los Solidos Suspendidos Totales (SST), en las dos mediciones, superan lo recomendado para evitar procesos de colmatación (valores menores 3 (mg/L)).

Para el caso de la temperatura se recomiendas valores menores de 10° mayores temperaturas propician un ambiente favorable el crecimiento bacteriano en las paredes del sistema de infiltración.

Los valores de turbiedad se deben tratar de disminuir al máximo, preferentemente bajo las 0.5 (NTU).

Si bien algunos parámetros de los análisis de las muestras presentan sobrepaso, de los límites admisibles para la Norma Chilena de agua para Riego, esto no se puede generalizar y por lo mismo no es comparable con los resultados obtenidos en estudios posteriores, puesto que solo se obtuvieron datos aislados sin registrar un seguimiento en el tiempo de los mismos.

Tabla 4.7: Resultados Análisis Calidad de Agua.

Muestra	Unidad	Norma chilena de agua para riego	Pozo Parcela Santa Ana	Canal Población	Cumple Norma chilena de agua para riego (Pozo)	Cumple Norma chilena de agua para riego (Canal)
Tipo			Subterránea	Superficial		
OD	mgO2/l	-	5,89	7,99	-	-
DBO	mgO2/l	-	6,5	9,3	-	-
DQO	mg/l	-	46,2	59,5	-	-
T	ºC	-	23,3	24	-	-
pH		5,5-9,0	7,9	8,04	Cumple	Cumple
SST	mg/l	-	27	29	Cumple	Cumple
As	mg/l	0,1	0,001	0,001	Cumple	Cumple
B	mg/l	0,75	0,006	0,06	Cumple	Cumple
Fe	mg/l	5	0,43	0,4	Cumple	Cumple
Mg	mg/l	0,2	25,6	12,7	No Cumple	No Cumple
Mn	mg/l	0,2	0,03	0,03	Cumple	Cumple
SO4	mg/l	250	53	78	Cumple	Cumple
Na	%	35	48,9	22,0	No Cumple	Cumple
Hg	mg/l	0,001	0,001	0,001	Cumple	Cumple
Al	mg/l	5	0,21	0,21	Cumple	Cumple
Cd	mg/l	0,01	0,008	0,008	Cumple	Cumple
Co	mg/l	0,05	0,02	0,02	Cumple	Cumple
Cu	mg/l	0,2	0,03	0,03	Cumple	Cumple
Cr	mg/l	0,1	0,02	0,02	Cumple	Cumple
Ni	mg/l	0,2	0,02	0,02	Cumple	Cumple
Ag	mg/l	0,2	0,02	0,02	Cumple	Cumple
Pb	mg/l	5	0,02	0,02	Cumple	Cumple
N	mg/l	-	0,41	1,47	Cumple	Cumple
Zn	mg/l	2	0,01	0,01	Cumple	Cumple
Mo	mg/l	0,01	0,01	0,01	Cumple	Cumple
Col. Fec.	mg/l	1000	1,8	1600	Cumple	No Cumple
Cloruros	mg/l	200	25,8	22,9	Cumple	Cumple
Aceites y grasas	mg/l	-	<10	<10	-	-
Turbiedad	UNT	-	0,85	47	-	-
Cond. Eléctrica	µS/cm	-	457	399	-	-

Certificado Análisis Químico Agua Subterránea –Pozo Sector Población

LABORATORIO CARLOS LATORRE S.A.

INN - CHILE SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION

INFORME DE ENSAYO

Complemento a Informe de Ensayo PARCIAL N° QP14 - 209

IDENTIFICACION MUESTRA

Región	: Sexta
Provincia	: Colchagua
Ciudad / localidad	: PERALILLO
PROCEDENCIA / ORIGEN	: Pozo Bombeo, Parcela Sta. Ana 264.780 E / 6.186 – 149 N
Tipo de muestra	: Puntual
Fecha y hora de muestreo	: 21 de Enero del 2014, 10:43 hrs.
N° Muestra fecha y hora recepción	: 147 – 21 de Enero del 2014, 16:15 hrs.
Monitoreo	: Cliente
Preservantes usados	: Acido Nitrico, Acido Clorhidrico, Acido Sulfúrico
Nombre y dirección cliente	: MACARENA BUSTAMANTE ACUÑA La Concepcion 081, Of. 1103, Providencia
Método de Ensayo	: (1) Manual SISS 2007 : (2) Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater 21 S 2005

RESULTADO DE ANALISIS

Parámetros	Método de Ensayo	Limite de Detección	Concentración Medida	Ejecución Ensayo	
				Fecha	Hora
pH	Electrométrico/ME - 29 (1)	-	7,09 Unidades	21.01.14	16:29
Temperatura	Termométrico/SM 2550 B (2)	-	23,3 °C	21.01.14	16:29
Oxigeno Disuelto	SM 4500 – O (2)	1,0 mgO_2/L	5,89 mgO_2/L	21.01.14	16:40
DBO5	NCh - 2313/5 Of. 2005	2 mgO_2/L	6,5 mgO_2/L	22.01.14	10:47
DQO	NCh - 2313/24 Of. 97	4,3 mg/L	46,2 mg/L	21.01.14	16:45
Aluminio	SM 3111 D (2)	0,21 mg/L	< 0,21 mg/L	31.01.14	14:00
Arsénico	E.A.A.Generacion Hidruros/ME – 12 (1)	0,001 mg/L	< 0,001 mg/L	25.01.14	13:10
Boro	SM - 3500 B (2)	0,06 mg/L	< 0,06 mg/L	31.01.14	12:05
Cadmio	E.A.A.Aspiracion Directa/ME 13 (1)	0,008 mg/L	< 0,008 mg/L	30.01.14	09:00
Calcio	SM - 3111 B (2)	0,3 mg/L	17,3 mg/L	30.01.14	18:00
Cobalto	SM -3111 B (02)	0,02 mg/L	< 0,02 mg/L	31.01.14	16:30
Cobre	E.A.A.Aspiracion Directa/ME - 04	0,03 mg/L	< 0,03 mg/L	30.01.14	11:45
Cromo	E.A.A.Aspiracion Directa/ME - 05	0,02 mg/L	< 0,02 mg/L	30.01.14	09:50
Hierro	E.A.A.Aspiracion Directa/ME - 07	0,03 mg/L	0,43 mg/L	24.01.14	17:12
Potasio	SM 3111 B (2)	0,1	6,4 mg/L	30.01.14	19:00
Manganeso	E.A.A.Aspiracion Directa/ME - 08	0,03 mg/L	< 0,03 mg/L	24.01.14	18:39
Magnesio	E.A.A.Aspiracion Directa/ME - 09	0,3 mg/L	25,6 mg/L	30.01.14	17:10
Mercurio	E.A.A.Generad de Hidruros Vapor frio de Hg/ ME - 15	0,001 mg/L	< 0,001 mg/L	25.01.14	10:10

CARLOS LATORRE S.A.

INN - CHILE SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION

CONTINUACION ENSAYO PARCIAL N° QP14 - 209

RESULTADO DE ANALISIS

Parámetros	Método de Ensayo	Límite de Detección	Concentración Medida	Ejecución Ensayo	
				Fecha	Hora
Molibdeno	SM/ 3111 (D) (2)	0,01 mg/	< 0,01 mg/L	31.01.14	16:10
Sodio	SM/ 3111 (D) (2)	3 mg/L	41 mg/L	30.01.14	18:35
Niquel	SM/ 3111 (B) (2)	0,02 mg/L	< 0,02 mg/L	31.01.14	17:15
Plata	SM/ 3111 (B) (2)	0,02 mg/L	< 0,02 mg/L	31.01.14	16:50
Plomo	E.A.A.Aspirad Directa/ME - 18 (1)	0,02 mg/L	< 0,02 mg/L	30.01.14	10:30
Zinc	E.A.A.Aspirad Directa/ME - 11 (1)	0,01 mg/L	< 0,01 mg/L	30.01.14	16:10
Nitrógeno Total	NCh 2313 - 28/ Of 98/ME - 17 (1)/ME - 16 (1)	0,10 mg/L	0,41 mg/L	26.01.14	17:50
Fosforo de Ortofosfato	NCh 2313 - 15 /Of 95	0,1 mg/L	< 0,1 mg/L	24.01.14	16:50
Conductividad Eléctrica	SM - 2510 B (2)	1 µS/cm	457 µS/cm	21.01.14	16:29
Cloruros	Argentométrico/ME - 28 (1)	0,6 mg/L	25,8 mg/L	25.01.14	12:40
Sulfatos	Gravimetrico con secado de residues/ME - 30(1)	2 mg/L	53 mg/L	27.01.14	12:10
Sólidos Suspendidos Totales	NCh 2313 - 3 Of. 95	7 mg/L	27 mg/L	22.01.14	15:30
Aceite y Grasas	NCh 2313 - 6 Of 97	10 mg/L	< 10 mg/L	24.01.14	09:21

CAROLINA A. SANCHEZ C.
Coordinadora Técnica

TERESA CARMONA V
Gerente General

Santiago, 05 de Febrero del 2014.

Observaciones
1) El informe de ensayo no debe ser reproducido sin la aprobación escrita del laboratorio
2) Los parametros analizados corresponden a todos los solicitados por el cliente
3) En caso de que el muestreo haya sido efectuado por el cliente, el laboratorio sólo se hace responsable por los analisis efectuados
4) Cliente acepta realizar el análisis, bajo sus condiciones de recepción

FT 5 indb

LABORATORIO QUIMICO SANITARIO
CARLOS LATORRE S.A.

SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION
INN - CHILE

B14 - 328

INFORME DE ENSAYO BACTERIOLOGICO

N° de referencia Cliente	:	2
N° de ingreso Laboratorio	:	251
Nombre y dirección cliente	:	MACARENA BUSTAMANTE ACUÑA La Concepción 081, Of. 1103, Providencia
Naturaleza de la muestra	:	-
Procedencia / origen muestreo	:	Pozo Bombeo - Parcela Sta. Ana - 264.780 E / 6.186-149 N Perafillo - VI Región
Fecha y hora muestreo	:	21 de Enero del 2014, 10:43 hrs.
Preservantes	:	☐ Solución Tiosulfato de Sodio
	:	☐ Solución EDTA
Muestreo	:	■ Cliente
	:	☐ Laboratorio
Fecha y hora recepción	:	21 de Enero del 2014, 16:15 hrs.
Fecha y hora inicio análisis	:	21 de Enero del 2014, 16:30 hrs.
Fecha y hora término análisis	:	25 de Enero del 2014, 16:25 hrs.

Cloro residual libre		:	-	mg/L
Turbiedad - Nefelométrico *(SISS-ME-03-2007)*		:	0,85	UNT
Recuento de Heterótrofos 35°C x 48 hrs. - St. Methods Ed.21" 2005-9215 B		☐ :	-	UFC/ml
NMP Coliformes Totales	- Nch 1620/1, Of. 84	■ :	2,0	NMP Bacterias / 100 ml.
	- Nch 1620/2, Of. 84	☐	-	UFC / 100 ml.
NMP Coliformes Fecales	- St. Methods Ed.21" 2005-9221 E	■ :	<1,8	NMP Bacterias / 100 ml.
	- Nch 2313/22, Of. 95	☐	-	NMP Bacterias / 100 ml.
	- Nch 2313/23, Of. 95	☐	-	NMP Bacterias / 100 ml.
Escherichia Coli - EC MUG *(SISS-ME-01-2007)*		■ :	Ausencia	Presencia / Ausencia
Escherichia Coli - EC MUG - St. Methods Ed.21" 2005-9221 F		☐ :	-	Presencia / Ausencia
Otros análisis		:	-	NMP Bacterias / 100 ml.

Observaciones : -

LORNA RAMIREZ S.
Bacterióloga

TERESA CARMONA V.
Gerente General

Santiago, 03 de Febrero del 2014

NMP: N° más probable
Observaciones:
1) El informe de ensaye no debe ser reproducido sin la aprobación escrita del laboratorio
2) Los parámetros analizados corresponden a todos los solicitados por el cliente
3) En caso de que el muestreo haya sido realizado por el cliente, el laboratorio sólo se hace responsable por los análisis efectuados
4) Cliente según) realizar el análisis, bajo las condiciones de recepción

TCl-Arr

Certificado Análisis Químico Agua Superficial -Canal Población
(Nota: Erróneamente se le denomino Pozo Abandonado)

CARLOS LATORRE S.A.

INN - CHILE SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION

INFORME DE ENSAYO

Complemento a Informe de Ensayo PARCIAL N° QP14 - 208

IDENTIFICACION MUESTRA

Región : Sexta
Provincia : Colchagua
Ciudad / localidad : PERALILLO
PROCEDENCIA / ORIGEN : **Pozo Abandonado, Canal, Población, Parcela Santa Ana 264.727 E / 6.186 – 272 N**
Tipo de muestra : Puntual
Fecha y hora de muestreo : 21 de Enero del 2014, 11:15 hrs.
N° Muestra fecha y hora recepción : 146 - 21 de Enero del 2014, 16:15 hrs.
Monitoreo : Cliente
Preservantes usados : Acido Nítrico, Acido Clorhídrico, Acido Sulfúrico
Nombre y dirección cliente : **MACARENA BUSTAMANTE ACUÑA** La Concepción 081, Of. 1103, Providencia
Método de Ensayo : (1) Manual SISS 2007
(2) Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater 21 ST 2005

RESULTADO DE ANALISIS

Parámetros	Método de Ensayo	Límite de Detección	Concentración Medida	Ejecución Ensayo	
				Fecha	Hora
pH	Electrométrico/ME 29 (1)	-	8,04 Unidades	21.01.14	16:27
Temperatura	Termométrico/SM 2550 B (2)	-	24,0 °C	21.01.14	16:27
Oxigeno Disuelto	SM/ 4500 - O (2)	1,0 mgO_2/L	7,99 mgO_2/L	21.01.14	16:40
DBO5	NCh - 2313/5 Of. 2005	2 mgO_2/L	9,3 mgO_2/L	22.01.14	10:42
DQO	NCh - 2313/24 Of. 97	4,3 mg/L	59,5 mg/L	21.01.14	16:45
Aluminio	SM/ 3111 D (2)	0,21 mg/L	< 0,21 mg/L	31.01.14	14:00
Arsénico	E.A.A.Generacion Hidruros/ME - 12 (1)	0,001 mg/L	< 0,001 mg/L	25.01.14	13:10
Boro	SM - 3500 B (2)	0,06 mg/L	< 0,06 mg/L	31.01.14	12:05
Cadmio	E.A.A.Aspiracion Directa/ME 13 (1)	0,008 mg/L	< 0,008 mg/L	30.01.14	09:00
Calcio	SM - 3111 B (2)	0,3 mg/	60,8 mg/L	30.01.14	18:00
Cobalto	SM - 3111 B (02)	0,02 mg/L	< 0,02 mg/L	31.01.14	16:30
Cobre	E.A.A.Aspiracion Directa /ME - 04	0,03 mg/L	< 0,03 mg/L	30.01.14	11:45
Cromo	E.A.A Aspiracion Directa/ME - 05	0,02 mg/L	< 0,02 mg/L	30.01.14	09:50
Hierro	E.A.A.Aspiracion Directa/ME- 07	0,03 mg/L	0,40 mg/L	24.01.14	17:12
Potasio	SM/ 3111 B (2)	0,1 mg/L	5,3 mg/L	30.01.14	19:00
Manganeso	E.A.A.Aspiracion Directa/ME - 08	0,03 mg/L	< 0,03 mg/L	24.01.14	18:39
Magnesio	E.A.A.Aspiracion Directa/ME - 09	0,3 mg/L	13,7 mg/L	30.01.14	17:10
Mercurio	E.A.A.Generad de Hidruros Vapor frio de Hg/ ME - 15	0,001 mg/L	< 0,001 mg/L	25.01.14	10:10

LABORATORIO QUIMICO SANITARIO
CARLOS LATORRE S.A.
Avenida Bulnes [illegible] Fono [illegible] Fonofax [illegible]
E-mail [illegible]

SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION
INN - CHILE
Acreditación LE 171 - LE 172

CONTINUACION ENSAYO PARCIAL Nº QP14 - 208

RESULTADO DE ANALISIS

Parámetros	Método de Ensayo	Límite de Detección	Concentración Medida	Ejecución Ensayo	
				Fecha	Hora
Molibdeno	SM/ 3111 (D) (2)	0.01 mg/	< 0,01 mg/L	31.01.14	16:10
Sodio	SM/ 3111 (D) (2)	3 mg/L	21 mg/L	30.01.14	18:35
Níquel	SM/ 3111 (B) (2)	0,02 mg/L	< 0,02 mg/L	31.01.14	17:15
Plata	SM/ 3111 (B) (2)	0,02 mg/L	< 0,02 mg/L	31.01.14	16:50
Plomo	E.A.A.Aspirad Directa/ME - 18 (1)	0,02 mg/L	< 0,02 mg/L	30.01.14	10:30
Zinc	E.A.A.Aspirad Directa/ME - 11 (1)	0,01 mg/L	< 0,01 mg/L	30.01.14	16:10
Nitrógeno Total	NCh 2313 – 28/ Of 98 / ME – 17 (1) / ME – 16 (1)	0,10 mg/L	1,47 mg/L	26.01.14	17:50
Fosforo de Ortofosfato	NCh 2313 – 15 /Of 95	0,1 mg/L	2,2 mg/L	24.01.14	16:50
Conductividad Eléctrica	SM – 2510 B (2)	1 µS/cm	399 µS/cm	21.01.14	16:27
Cloruros	Argentométrico/ME – 28 (1)	0,6 mg/L	22,9 mg/L	25.01.14	12:40
Sulfatos	Gravimetrico con secado de residuos/ME–30 (1)	2 mg/L	78 mg/L	27.01.14	12:10
Sólidos Suspendidos Totales	NCh 2313 – 3/ Of. 95	7 mg/L	29 mg/L	22.01.14	15:30
Aceite y Grasas	NCh 2313 – 6/ Of. 97	10 mg/L	< 10 mg/L	24.01.14	13:20

CAROLINA A. SANCHEZ C.
Coordinadora Técnica

TERESA CARMONA V.
Gerente General

Santiago, 05 de Febrero del 2014.

Observaciones:
1) El informe de ensayo no debe ser reproducido sin la aprobación escrita del laboratorio
2) Los parámetros analizados corresponden a todos los solicitados por el cliente
3) En caso de que el muestreo haya sido practicado por el cliente, el laboratorio sólo se hace responsable por los análisis efectuados
4) Cliente acepta realizar el análisis, bajo las condiciones de recepción

TC/vrdh

LABORATORIO C. V. DE SANITARIO
CARLOS LATORRE S.A.

INN - CHILE SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION

B14 - 327

INFORME DE ENSAYO BACTERIOLOGICO

N° de referencia Cliente	:	1
N° de ingreso Laboratorio	:	250
Nombre y dirección cliente	:	MACARENA BUSTAMANTE ACUÑA La Concepción 081, Of. 1103, Providencia
Naturaleza de la muestra	:	-
Procedencia / origen muestreo	:	Pozo Abandonado - Canal Población - Parcela Sta. Ana - 264.727 E / 6.186-272 N Peralillo - VI Región
Fecha y hora muestreo	:	21 de Enero del 2014, 11:15 hrs.
Preservantes	:	☐ Solución Tiosulfato de Sodio
	:	☐ Solución EDTA
Muestreo	:	■ Cliente
	:	☐ Laboratorio
Fecha y hora recepción	:	21 de Enero del 2014, 16:15 hrs.
Fecha y hora inicio análisis	:	21 de Enero del 2014, 16:20 hrs.
Fecha y hora término análisis	:	24 de Enero del 2014, 16:18 hrs.

Cloro residual libre			-	mg/L
Turbiedad - Nefelométrico *(SISS-ME-03-2007)*		:	47	UNT
Recuento de Heterótrofos 35°C x 48 hrs. - St. Methods Ed.21st 2005-9215 B		☐	-	UFC/ml
NMP Coliformes Totales	- Nch 1620/1, Of. 84	■	≥ 1 600	NMP Bacterias / 100 ml
	- Nch 1620/2, Of. 84	☐	-	UFC / 100 ml
NMP Coliformes Fecales	- St. Methods Ed.21st 2005-9221 E	■	> 1 600	NMP Bacterias / 100 ml
	- Nch 2313/22, Of. 95	☐	-	NMP Bacterias / 100 ml
	- Nch 2313/23, Of. 95	☐	-	NMP Bacterias / 100 ml
Escherichia Coli - EC MUG *(SISS-ME-01-2007)*		■	Presencia	Presencia / Ausencia
Escherichia Coli - EC MUG - St. Methods Ed.21st 2005-9221 F		☐	-	Presencia / Ausencia
Otros análisis			-	NMP Bacterias / 100 ml.

Observaciones : -

TORRES RAMIREZ S.
Bacteriólogo

TERESA CARMONA V.
Gerente General

Santiago, 03 de Febrero del 2014

NMP: Número probable

Observaciones

1) El informe de ensayo no debe ser reproducido en forma parcial sin aprobación escrita del laboratorio.
2) Los parámetros analizados corresponden a los indicados por el cliente.
3) En caso de que el muestreo haya sido realizado por el cliente, el laboratorio no se hace responsable por los datos informados.
4) Cliente acepta realizar el análisis bajo las condiciones de recepción.

TCT/mv

5 CAMBIOS EN LA CONCEPCIÓN ORIGINAL DEL PROYECTO

El proyecto como originalmente fue concebido, considerando dos pilotos de recarga, mediante balsa y pozo de infiltración ha sufrido modificaciones sustanciales, debido a eventualidades y a un diagnostico técnico fruto del desarrollo proyecto. Dicho diagnóstico técnico concluyó que era imposible y/o inviable ejecutar los 2 Pilotos señalados en la Bases Técnicas.

Dichas modificaciones técnicas al proyecto original han sido consensuadas y aprobadas previamente por CNR, y se explican brevemente a continuación:

- **Piloto Balsa de Infiltración:**

La única zona apta para realizar Piloto Balsa se encuentra ubicada en el sector de inicio del Estero Las Cadenas, inmediatamente bajo la confluencia del Estero Yerbas Buenas y el Estero Las Rosas. Esto debido a la disponibilidad hídrica para operar el piloto, y la aptitud de los suelos para ser infiltrados mediante Balsa.

Sin embargo, la diferencia en elevación de 3 (m) existente entre la ribera y el fondo del cauce, obligan a diseñar una Balsa excavada completamente en el terreno, a una profundidad aproximada de 2,5 (m), y la construcción de canales de conducción de aguas para alimentar el Piloto, y retornar los flujos excedentes, de una longitud de 350 (m) completamente excavados.

Presentando estos diseños a CNR, se ha concluido que esta solución, técnicamente viable, no sería una alternativa replicable dado lo forzado de las condiciones de diseño.

Por lo anterior, en conjunto con el equipo técnico de CNR, se ha concluido que lo más adecuado para el proyecto será diseñar una nueva alternativa Piloto de Recarga directamente en el lecho del estero Las Cadenas.

- **Piloto Pozo de Infiltración:**

Se determinaron al menos 3 zonas factibles de desarrollar este Piloto, sin embargo, no se cuenta con la disponibilidad hídrica en cantidad y calidad que asegure la adecuada implementación del Piloto.

En efecto, la única fuente de recursos hídrico disponible (Canal Población) arrojó calidad del agua que no cumple con la calidad mínima para ser infiltrada directamente en el acuífero. No es posible estimar la calidad que podría tener el recurso durante la operación del Piloto, por lo que técnicamente la incertidumbre respecto de la calidad final del agua a ser infiltrada obliga a descartar esta alternativa de alimentación.

No existen otras fuentes de agua, que cumplan con la calidad y disponibilidad en los sectores estudiados.

Por lo anterior, en conjunto con el equipo técnico de CNR, se ha concluido que, dado los antecedentes existentes, no es viable implementar, en este momento, una alternativa de recarga mediante pozos de infiltración.

5.1 Diseño y Metodología del Nuevo Piloto Propuesto

Las conclusiones consensuadas con CNR, indican la necesidad de diseñar e implementar un Piloto de recarga, factible de ser materializado en este estudio, que cumpla con la condición de poder ser "replicable" en otros sectores del estero Las Cadenas, en futuros estudios, y que finalmente permita ser una alternativa real de recarga de los acuíferos del sector de Marchigue.

Considerando lo anterior, se ha procedido a diseñar una alternativa de recarga de acuíferos, interviniendo directamente el cauce del estero Las Cadenas, mediante una obra que permitirá represar el estero, en una longitud de aproximadamente 1,5 (km), con una altura de carga de 1 (m).

Esta alternativa de Piloto de Recarga permitirá contar con una superficie de recarga efectiva de aproximadamente 37.500 (m^2).

La superficie de recarga considerada originalmente para el Piloto de Balsa, cuyas dimensiones eran de 30 (m) x30 (m), alcanzaba aproximadamente a 900 (m^2).

Se concluye que este nuevo Piloto de Recarga diseñado directamente en el estero Las Cadenas (ver Anexo G), permitirá infiltrar el equivalente a 42 Pilotos tipo Balsas. Dada la envergadura de este nuevo Piloto de recarga a escala real, será necesario realizar nuevas actividades e inversiones, adicionales a las consideradas originalmente en la propuesta, las que se detallan a continuación:

- Habilitar 300 (m) de caminos de acceso a las obras en el Estero y mejorar 2 (km) de caminos existentes para el tránsito de maquinaria pesada.

- Materializar obras en condiciones altamente complejas respecto de lo considerado originalmente, construyendo directamente en la caja del estero Las Cadenas, con un curso de agua permanente, con riesgos de inundaciones, necesidad de control de aguas mediante el empleo de equipos de agotamiento y maquinaria mayor, utilización de técnicas de construcción bajo agua, etc.

- Construir un dique para represar las aguas en el estero, de aproximadamente 30 (m) de longitud, con una atura que fluctuará entre 1 y 1,5 (m). Para materializar dicha obra se emplearán gaviones, pilotes y rollizos de madera, impermeabilizando el Dique con geomembrana y geotextil.

- Aumentar de 2 a 5 los pozos de monitoreo continuo y permanente de la variación del nivel freático del acuífero mediante instrumentación en 5 pozos de 10 (m) de profundidad que deberán ser construidos. Adicionalmente, se monitorearán en forma manual y periódica, mediante pozómetro, 3 pozos existentes para totalizar 8 puntos de monitoreo de napas en el sector.

- Implementar un sistema de control de caudales en los tributarios del estero Las Cadenas, (estero Yerbas Buenas y estero Las Rosas), y caudales salientes desde el dique en el estero Las Cadenas, mediante la construcción e instrumentación de 3 estaciones de control de niveles de agua.

- Extender el período de monitoreo originalmente propuesto hasta el mes de octubre.

Indemnizar económicamente al propietario del predio de acceso a la zona de obras, por los perjuicios que serán originados debido a la necesidad de contar con camino de acceso y áreas de manejo y acopio de material

5.2 Descripción del Proyecto

El proyecto considera el diseño y construcción de las obras correspondientes para materializar el Plan Piloto (PP) de Recarga Artificial del acuífero de Marchigüe. En este sentido, los principales aspectos que consideró el PP fueron los siguientes:

1. Intervención del lecho del Estero Las Cadenas en el tramo cuyos suelos se han identificado como los más favorables para la infiltración, a través de las obras requeridas, todas ellas de carácter provisorio.

2. La intervención señalada corresponde a la generación de una poza artificial (volumen de control) de infiltración a través de la construcción de un pequeño dique-vertedero en el lecho del Estero Las Cadenas. Este dique-vertedero fue instrumentado para controlar los caudales efluentes de la poza.

3. La poza a generar busca los siguientes objetivos:

- Mantener un volumen mínimo para infiltración de manera sostenida en el tiempo.

- Producir un peralte moderado del eje hidráulico, con un diferencial adicional de carga favorable para la infiltración y recarga del acuífero.

4. Para controlar los volúmenes afluentes a la poza, se construirán dos secciones instrumentadas aforo, a saber:

- Sección de aforo en cola de la poza, ubicada en el Estero Yerbas Buenas, aguas arriba de la confluencia con el Estero Las Rosas, punto después del cual comienza el Estero Las Cadenas.

- Sección de aforo en el Estero Las Rosas, aportante directo a la poza de infiltración que se estudia.

A través de las obras señaladas y sus efectos positivos para los procesos de infiltración, se busca medir con de una red piezométrica de monitoreo las variaciones en el nivel de la napa en estudio.

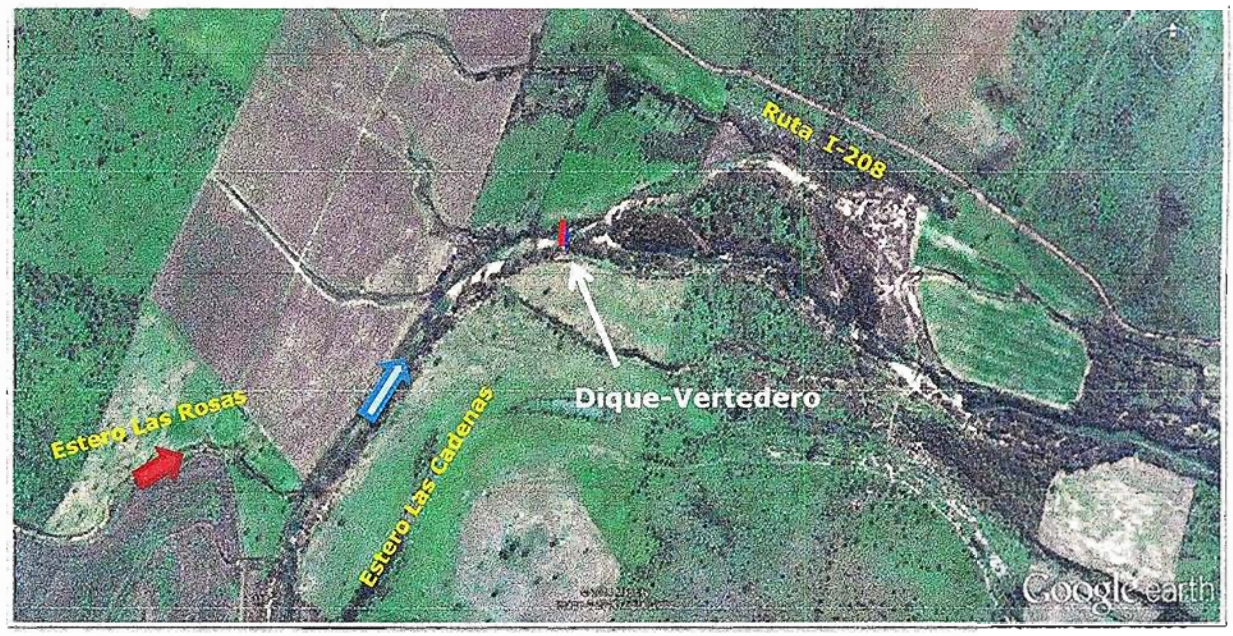
5.2.1 Ubicación Dique – Vertedero.

Se trata de un muro provisorio de 1,5 (m) de altura máxima, medida en el punto más bajo del lecho del Estero Las Cadenas, con coordenadas de vértices en su eje longitudinal según se indica a continuación:

VÉRTICES	ESTE (m)	NORTE (m)
V-1	256.702,7	6.192.467,5
V-2	256.705,8	6.192.436,9

El siguiente fotograma Google Earth muestra la ubicación general del proyecto:

Figura 3.1 Ubicación Dique Vertedero



5.2.2 Descripción del Dique - Vertedero.

El dique – vertedero fue concebido como una estructura mixta que consta de tres partes y que se emplaza sobre el lecho del Estero Las Cadenas:

1. **Base Muro:** Se proyectaron gaviones enterrados y apoyados en el suelo natural, con el objetivo de estabilizar el fondo del lecho y así evitar su erosión en la etapa de operación del proyecto. Los gaviones fueron rellenados con bolones de tamaño 6-8" y envueltos sobre mallas de geotextil para evitar la migración de finos hacia su jaula que pudiera provocar el descenso de las estructuras.

2. **Sección Central Muro:** Se consideró una sección central compuesta por rollizos de madera, dispuestos de manera vertical y horizontal, de 6" de diámetro y 3 (m) de longitud. Los elementos verticales se hincaron en suelo estable y sirvieron de guía para los elementos horizontales. Para su estabilidad basal los rollizos verticales se hincaron entre los gaviones

basales a una profundidad no inferior de 1,5 (m). En el espaldón aguas arriba de esta sección, se dispuso de geotextil y de geomembrana para provocar la formación de la poza.

3. **Secciones Laterales Muro:** Están constituidas por gaviones impermeabilizados con geomembrana, apoyados sobre los gaviones enterrados dispuestos en la base. Se consideró la colocación de geotextil bajo la geomembrana para así evitar su punzonamiento.

El terreno fue compactado mecánicamente mediante el tránsito de retroexcavadora. El objetivo fue densificar el material granular de apoyo y así minimizar las deformaciones durante las etapas de construcción y operación del proyecto.

El detalle de las secciones del muro se muestra en el Plano 1.1.

5.2.3 Descripción Red Piezométrica

Se implementaron 5 pozos de monitoreo de 6" y 12 (m) de profundidad, con el objetivo de registrar las variaciones del nivel de napa como consecuencia de la implementación del proyecto. En los pozos se habilitaron tubos ranurados de PVC y dentro de ellos, para registrar en forma permanente la variación del nivel de napa, se instalaron sensores hidrostáticos de presión (data logger). La información de niveles se rescató y procesó luego de dos semanas de registro. La perforación de los pozos se realizó mediante tricono en diámetro de 6". La inspección visual y análisis estratigráfico se realizó sobre muestras extraídas en cada metro de perforación. La descripción estratigráfica de pozos se presenta más adelante.

La red piezométrica incluye además el monitoreo de cinco pozos habilitados con anterioridad en la zona y cuya información fue registrada con pozómetro cada dos semanas.

En la Lámina 7.1 se detalla la ubicación, profundidad y cotas de cada pozo además del esquema tipo de piezómetro y sensor habilitado.

5.2.4 Instrumentación.

Para el control de los afluentes a la poza, se instalaron sensores de presión (data logger) en secciones conocidas del Estero Yerbas Buenas y Estero Las Rosas. Para el control del efluente se instrumentó la sección central del muro. La información de niveles se rescató y procesó luego de dos semanas de registro.

La ubicación de estos instrumentos se muestra en la Lámina 7.1.

5.2.5 Criterios de Diseño

Sección Construcción de las Obras: La elección de la sección se basó considerando aspectos técnicos y económicos. En efecto, la sección elegida evidenció un lecho firme y homogéneo con laderas estables y libres de vegetación. En lo económico, la sección presenta un ancho aproximado de sólo 25 m, lo que se tradujo en materializar una menor cantidad de obra, lo que fue relevante dado que se trata de una obra temporal.

Nivel de Fundación: El nivel de fundación del muro se estableció básicamente respetando la elevación del lecho del estero en la sección elegida para materializar las obras (154 (m.s.n.m.)). El suelo de fundación corresponde a una arena gruesa con baja cantidad de finos que se compactó mecánicamente para proporcionar una superficie homogénea de apoyo.

Taludes de Excavación: Para materializar las obras sólo se consideró excavar taludes temporales. Dada la naturaleza de los suelos involucrados tanto en el lecho del estero como en las laderas, las excavaciones se realizaron con taludes verticales.

Estabilidad del Muro: El muro fue concebido como una estructura de contención gravitacional, asegurando que tanto el factor de seguridad al deslizamiento y volcamiento fuera mayor a la unidad. Esta condición se consideró suficiente dado que se trata de una obra temporal.

Nivel de Carga Operacional (Muro – Laguna): Se ha definido mantener una carga máxima de 1 metro en condiciones de operación normal del sistema Muro-Laguna.

Criterio de Sobrepaso del Muro: Se ha determinado la necesidad de diseñar una obra que permita ser sobrepasada en eventos significativos de crecida, evitando de esta forma posibles afecciones a los predios ribereños ubicados aguas arriba del Muro.

Condición de Daño: Se admite daños estructurales en el Muro, para condiciones de sobrepaso, que aseguren la no afectación por represamiento artificial, en eventos de crecidas.

Crecida de Diseño: dado que la obra tiene un carácter experimental y temporal, se diseñará adoptando como periodo de retorno, una crecida asociada a 2 años. Se admitirá daños parciales en la estructura para eventos de período de retorno mayor (diseño de estructura tipo fusible).

Áreas de Inundación y Recarga: Se ha definido un área efectiva de inundación en condiciones de operación normal (1 (m) de peralte en el muro), por efecto del represamiento de las aguas, de 1,5 (km) aguas arriba del muro. Esto se traduce en un área efectiva permanente de recarga de 37.500 (m^2), considerando un ancho efectivo del cauce de 25 (m).

5.3 Memoria Hidráulica

5.3.1 Introducción

En atención a las modificaciones en la filosofía del PPRAA de Marchigüe, el presente documento indagará, desde el punto de vista hidráulico, las principales implicancias que su construcción y operación puedan traer al sistema, respecto de la situación actual del estero Las Cadenas en cuanto a su comportamiento.

Cabe recordar que la actual filosofía, impulsada por el Coordinador CNR del Estudio, consiste en usar un tramo de la caja del estero Las Cadenas como volumen de control para efectuar la recarga del acuífero mediante la infiltración a través del lecho. Esto conlleva la necesidad de implementar las siguientes medidas:

1) Generar una sección de contención de aguas (dique) en la caja del estero, estructuralmente segura. Con esto se persigue conseguir dos objetivos:
    a. Generar una carga hidráulica adicional que favorezca la infiltración.
    b. Formar un espejo de agua perdurable durante los periodos que el cauce portee caudales afluentes muy bajos o nulos.
2) La sección de contención deberá poseer una sección de vertido controlado, esto es un vertedero. Con esto se busca una sección de aforo instrumentada que permita conocer en tiempo real los caudales efluentes del volumen de control, dentro de un rango aceptable de caudales.

Con todo esto, el análisis se centrará en la modelación mediante HEC-RAS del estero Las Cadenas bajo situación actual y proyectada, a fin de evaluar el impacto de las obras que se planea construir y operar durante el PPRAA de Marchigüe.

En lo que respecta a las demás obras, si bien no se dejarán de lado, en el presente documento se abordarán desde un punto de vista descriptivo y

conceptual, de modo de dejar caracterizado de manera global el nuevo layout del sistema.

5.3.2 Objetivos y Alcances

Los objetivos del presente estudio son los siguientes:

a) Revisar los antecedentes disponibles para el diseño y evaluación del dique-vertedero.
b) En función de los antecedentes y requerimientos del proyecto, caracterizar conceptualmente el layout global correspondiente al nuevo sistema propuesto.
c) Compatibilizar el diseño de las obras tanto con los requerimientos técnicos (por ejemplo, rango de caudales para aforo, ahogamiento, etc.) del estudio como con la seguridad de la misma y su entorno (riesgo y estimación de anegamientos hacia aguas arriba del dique).
d) Generar un modelo HEC-RAS que permita dimensionar las obras y evaluar tanto el comportamiento hidráulico de las obras como su influencia en el Estero.
e) Proponer un sistema de monitoreo de los parámetros hidráulicos relevantes para el aforo de caudales efluentes en la sección de vertido controlado.
f) Confeccionar los planos hidráulicos de forma correspondientes a las obras correspondientes al dique-vertedero.

Los alcances de este estudio se enmarcan dentro de la aplicación de la ingeniería hidráulica al sistema y a sus requerimientos, sin incluir el diseño de los elementos de monitoreo en cuanto a los sistemas de alimentación (proyecto eléctrico) y telemetría, entre otras.

Asimismo, cabe destacar que en ningún caso el presente constituye un estudio de inundación, toda vez que para tales efectos los requerimientos de estudios

topográficos, hidrológicos y de modelamiento hidráulico no son compatibles con los trazados originalmente por las Bases Técnicas del PPRAA de Marchigüe.

Sin perjuicio de lo anterior, se buscará estimar el peralte del eje hidráulico que producen las obras a proyectar para PPRAA, siempre bajo un enfoque de aproximación en base a las herramientas y antecedentes disponibles.

Finalmente, todos los supuestos que sea necesario realizar serán claramente establecidos y justificados, siempre que los datos puestos a disposición no permitan establecer de forma directa todas las consideraciones de cálculo necesarias.

5.3.3 Revisión de Antecedentes

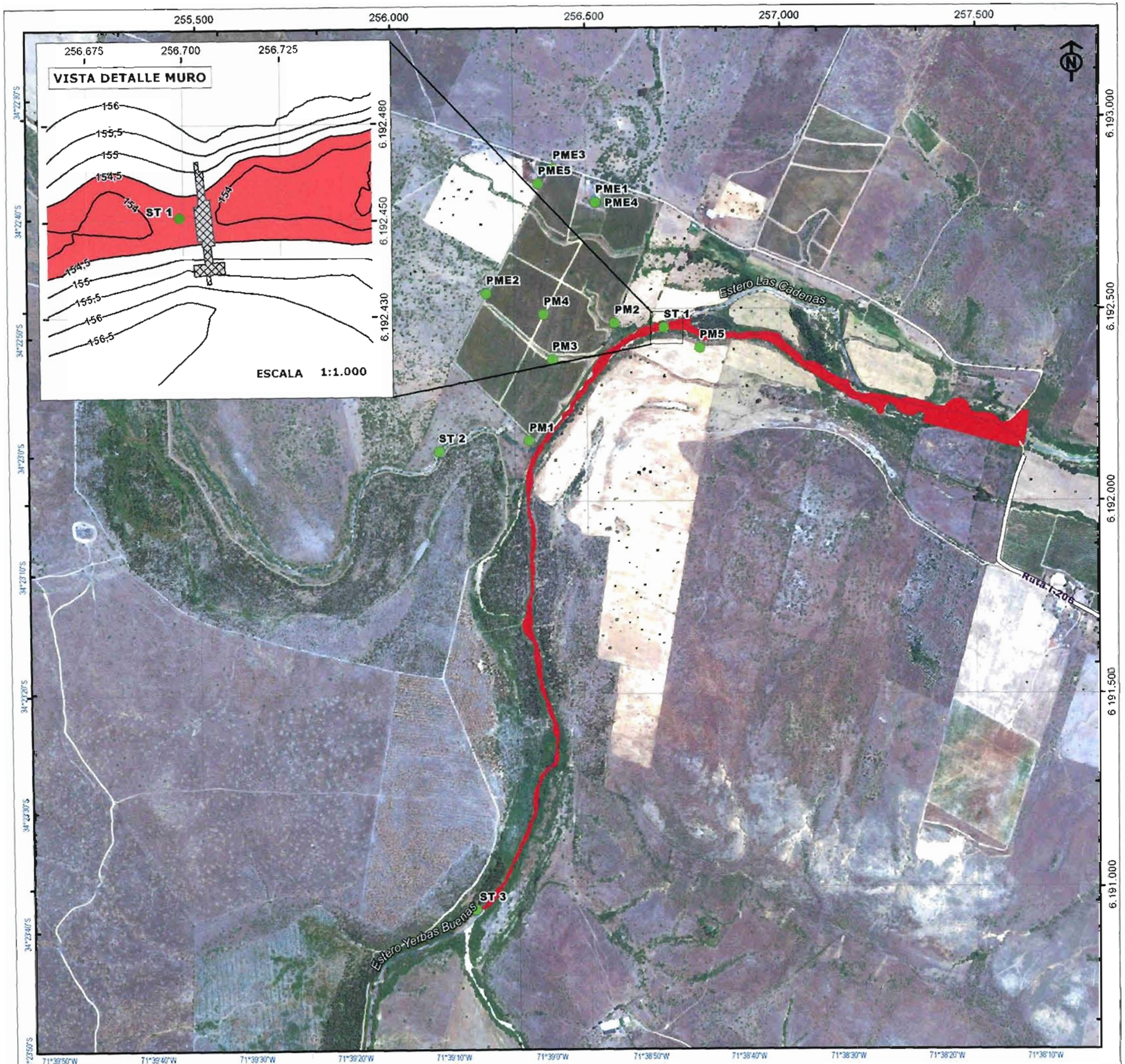
5.3.3.1 Metodología para Desarrollo del Estudio

Se establece el marco general y la descripción de proyectos tipo PPRAA, experiencia internacional, ubicación del lugar en estudio y metodología de trabajo, entre otras.

5.3.3.2 Reunión CNR - CP Consultores, 12/06/2014

Se establece el nuevo enfoque del plan piloto, en cuanto a cambiar el layout original por uno en que un tramo de la caja del estero Las Cadenas se utilice como volumen de control para infiltrar; esto requiere la implementación de obras en el lecho cuyos efectos se deben evaluar para salvaguardar la seguridad del entorno y de las obras propiamente tales.

En la Lámina 5.1 se indica la posición del dique-vertedero y una aproximación del área que constituye el espejo de agua contenido al interior de la caja del estero Las Cadenas.



SIMBOLOGÍA BASE

Hidrografía

Drenaje
- Estero
- Quebrada Intermitente
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

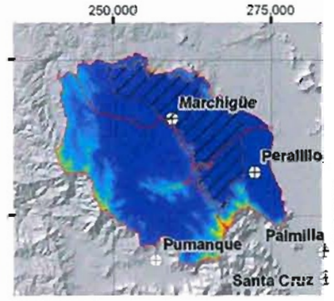
Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Es. Las Cadenas-Marchigüe

Elemento contextual
- Área de infiltración
- Instrumento monitoreo
- Muro presa
- Curva de nivel

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 900
- Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

Gobierno de Chile

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Área de infiltración

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina5.1_Área de Infiltración.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

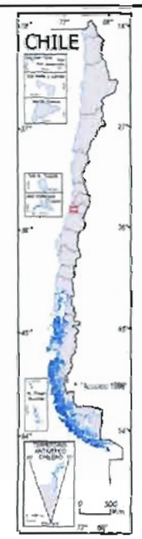


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
5.1 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 100 200 400 m ESCALA 1:10.000

5.3.3.3 Desarrollo conceptual del layout propuesto de obras hidráulicas para PPRAA Marchigüe

Las obras hidráulicas necesarias para la ejecución del plan piloto de recarga artificial de acuíferos deberán ser tales que cumplan los siguientes requerimientos:

- ✓ Sean sencillas y económicas y seguras, tanto desde el punto de vista constructivo como de operación.
- ✓ Permitan aforar tanto los caudales afluentes al sistema de recarga artificial, como los efluentes para un rango apropiado de caudales.
- ✓ Permitan monitorear los efectos del PPRAA dentro de los rangos de operación definidos, en concordancia con los requerimientos técnicos y objetivos del estudio.
- ✓ Permitan cuantificar de manera continua los parámetros hidráulicos de mayor relevancia, como por ejemplo, niveles.

Con todo lo anterior y en concordancia con lo esbozado en los numerales anteriores, a continuación se entrega una descripción de las obras hidráulicas necesarias.

5.3.3.4 Dique de Contención y Peralte Hidráulico

Con el fin de embalsar el agua del estero Las Cadenas se construirá un dique de rollizos de madera (más detalles ver Plano de Detalle 2-2), el cual poseerá en su parte central una sección de vertedero para aforar un rango de caudales por determinar.

Para condiciones estáticas, esto es, para cuando el dique opere sin rebose sobre la cota de vertedero, se espera la formación de un espejo de agua con superficie

preliminarmente estimada de 1.88ha, toda ella contenida dentro de la caja del estero Las Cadenas.

Por otra parte, el aforo de los caudales que viertan libremente (es decir, sin influencia desde aguas abajo), se realizará de manera indirecta a través de un transductor de presiones, el cual registrará la altura de escurrimiento en la zona de curva de descarga del vertedero; la información será almacenada en un *datalogger*.

Sección de Ingreso de caudal al Sistema en Los Esteros Las Rosas Y Yerbas Buenas

Con la finalidad de medir el caudal efectivo que ingresa al sistema a través de la obra de toma, se propone la estabilización de una sección del Estero Las Rosas y otra en el Estero Yerbas. Dentro de dicha sección, se implementará un instrumento sensor de niveles que permita una medición y lectura continua.

5.3.3.5 Pozos de Monitoreo

Para los fines de observación del comportamiento de la napa a recargar, se planea utilizar 5 pozos existente en las cercanías del estero las cadenas en donde se implementará el dique, los cuales se encuentran en contacto con el acuífero en recarga.

Las lecturas y registro de ellas, se realizarán mediante equipo e instrumentación adecuada para tales fines (p. ej. transductor de presiones y *datalogger*).

A continuación se presenta un esquema general de los pozos de monitoreo y el instrumental dispuesto para el control de caudal del estero:

ESQUEMA GENERAL DISPOSICIÓN DE INSTRUMENTAL Y POZOS DE MONITOREO

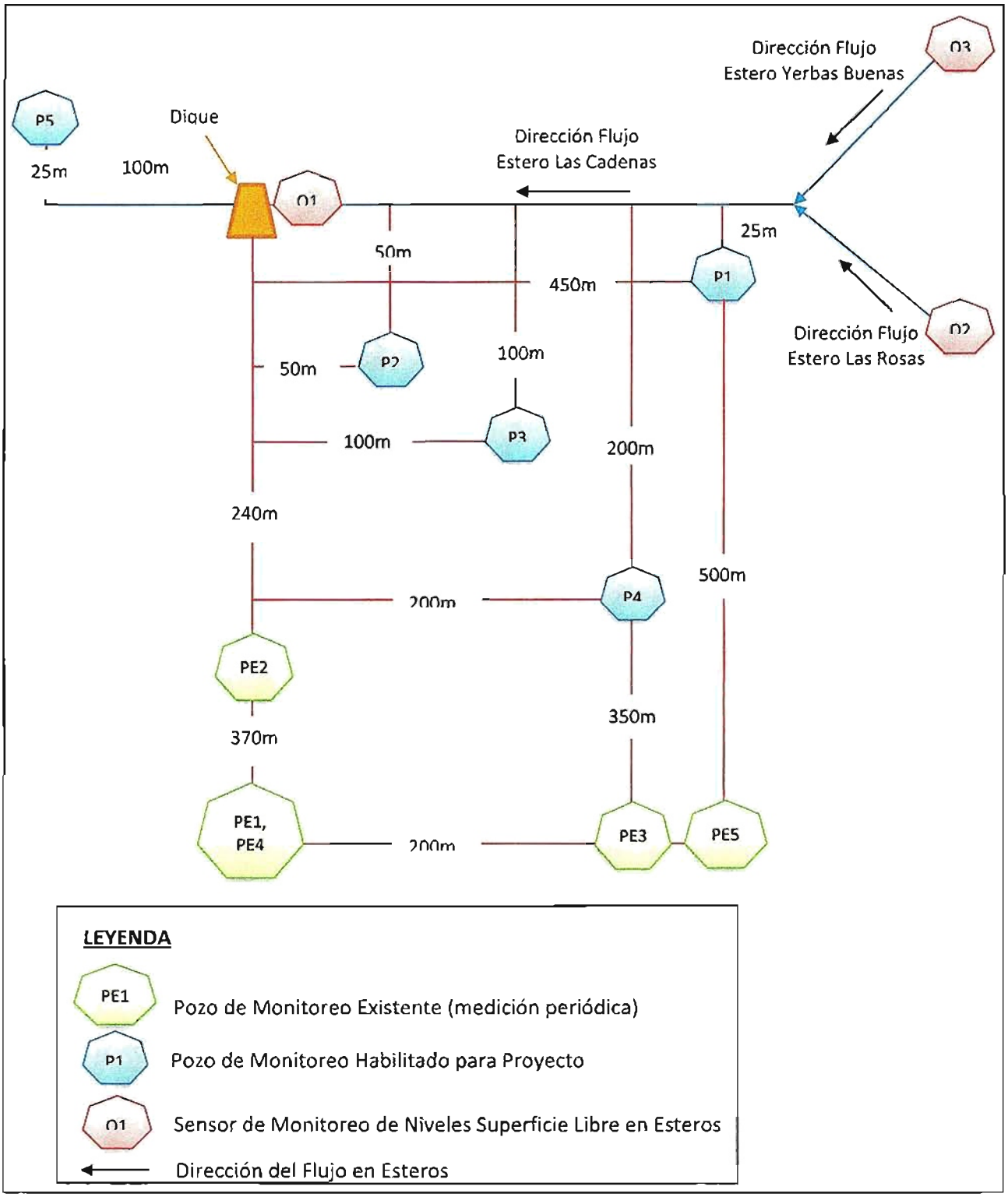


Tabla 5.1: Red de Monitoreo de Niveles Freáticos

ID	Coordenadas UTM 84		Cota Terreno	Distancia desde muro/cauce
	Este (m)	Norte (m)	(msnm)	(m)
PM 1	256.350	6.192.158	156,3	50/25
PM 2	256.572	6.192.463	156,3	50/50
PM 3	256.412	6.192.369	156,4	100/100
PM 4	256.390	6.192.486	156,7	200/200
PM 5	256.791	6.192.398	156,1	100 (aguas abajo)
PME 1	256.525	6.192.776	157,6	370 desde muro
PME 2	256.243	6.192.541	157,2	240 desde muro
PME 3	256.416	6.192.865	158,1	200/350
PME 4	256.518	6.192.780	157,6	370 desde muro
PME 5	256.378	6.192.825	158,1	500 desde muro

5.3.4 Dimensionamiento de la sección de vertedero en el dique

5.3.4.1 Base Topográfica

Se efectuó en terreno la toma topográfica de puntos de la caja del estero Las Cadenas, a partir del cual se generó la malla TIN correspondiente. Con ella se obtuvieron perfiles transversales del estero distanciados cada 20 (m) con centro en el eje del lecho, cuyos datos (X,Y) se implementarán en la modelación hidráulica.

5.3.4.2 Rango de Caudales de Aforo y Caudal de Verificación

Dado que interesa aforar un rango de caudales ajustado a la realidad del estero Las Cadenas, se plantea aforar aquellos caudales con probabilidad de excedencia media, esto es, de P_{exc} = 50%.

De acuerdo a la Tabla 5.2, la serie de caudales P_{exc} = 50% para los meses de invierno y primavera, son los siguientes:

Tabla 5.2: Q(Pexc = 50%) - Estero Las Cadenas

MES	$Q(P_{exc} = 50\%)$ (m^3/s)
junio	4,6
julio	3,2
agosto	2,3
septiembre	0,9

Cabe señalar que para caudales mayores, la obra sólo operará como dique, pues se considera que las eventualidades de crecidas no justifican considerar una obra tal de aforo que implique un impacto y riesgos innecesarios sobre el entorno.

Para el caso de la verificación del impacto que genera la obra ante una crecida, se utilizarán los mayores caudales con P_{exc} = 5% y 20%, siendo éstos:

$Q(P_{exc} = 5\%) = 33,1$ (m^3/s) (junio)

$Q(P_{exc} = 20\%) = 12,6$ (m^3/s) (junio)

5.3.4.3 Ubicación en Planta del Vertedero

Para la ubicación en planta del vertedero en la caja del estero Las Cadenas, se consideran los siguientes aspectos fundamentales, de acuerdo a los requerimientos técnicos del PPRAA de Marchigüe:

1) La presencia de suelos aptos para la infiltración y recarga del acuífero.
2) Una pendiente apropiada para la generación de un espejo de agua de dimensiones favorables para la experiencia (profundidad y superficie).

En base a las razones expuestas, el dique-vertedero se ha ubicado, en términos de vértices georeferenciados de su eje longitudinal, en:

Figura 5.1: Coordenadas UTM vértices Eje Dique-Vertedero

Vértices	Coordenadas UTM WGS 84	
	Este (m)	Norte (m)
V-1	256.702,7	6.192.467,5
V-2	256.705,8	6.192.436,9

5.3.4.4 Implementación Modelación HEC-RAS Estero Las Cadenas

En general, se consideran los datos usuales de entrada:

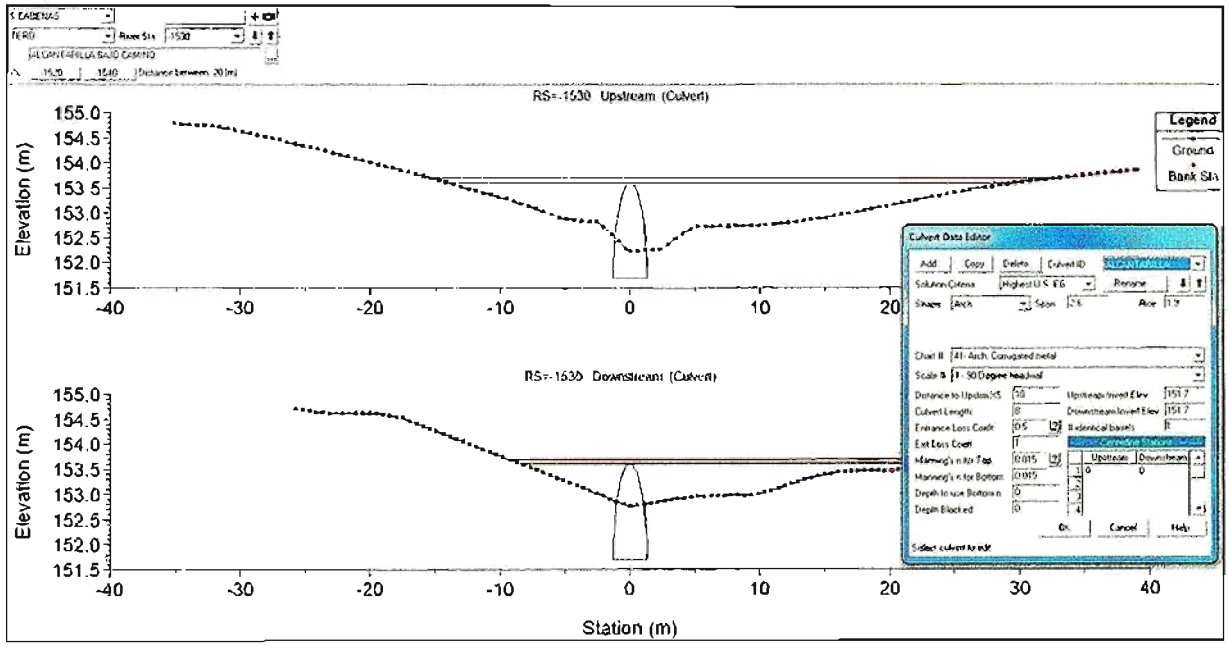
- Rugosidad de Manning para fondo de lecho : n = 0,030
- Rugosidad de Manning para riberas de cauce : n = 0,035
- Condición de borde de aguas abajo : altura normal (i = 1‰)
- Régimen gobernante : mixto
- Rango de Caudales: según lo indicado en numeral 5.9.3.1.
- Escenarios:
    - Base (sin proyecto): considera las secciones naturales más la modelación de alcantarilla bajo badén de aguas abajo.
    - Proyectado: considera las secciones y elementos del escenario base más la modelación del dique-vertedero.

Cabe destacar que para la situación base, no se efectuarán operaciones de calibración del modelo.

Modelamiento Alcantarilla en Badén de aguas Abajo (Situación Base y con Proyecto)

Se considera el elemento HEC-RAS *Bridge Culvert* de sección (*shape*) Arco (*Arch*). La siguiente figura muestra la pantalla de modelación correspondiente:

Figura 5.2: Modelación HEC-RAS Alcantarilla en Badén de aguas abajo – Estero Las Cadenas



Las propiedades fundamentales de la modelación son:

Ancho basal : 2,6 (m)

Altura : 1,9 (m)

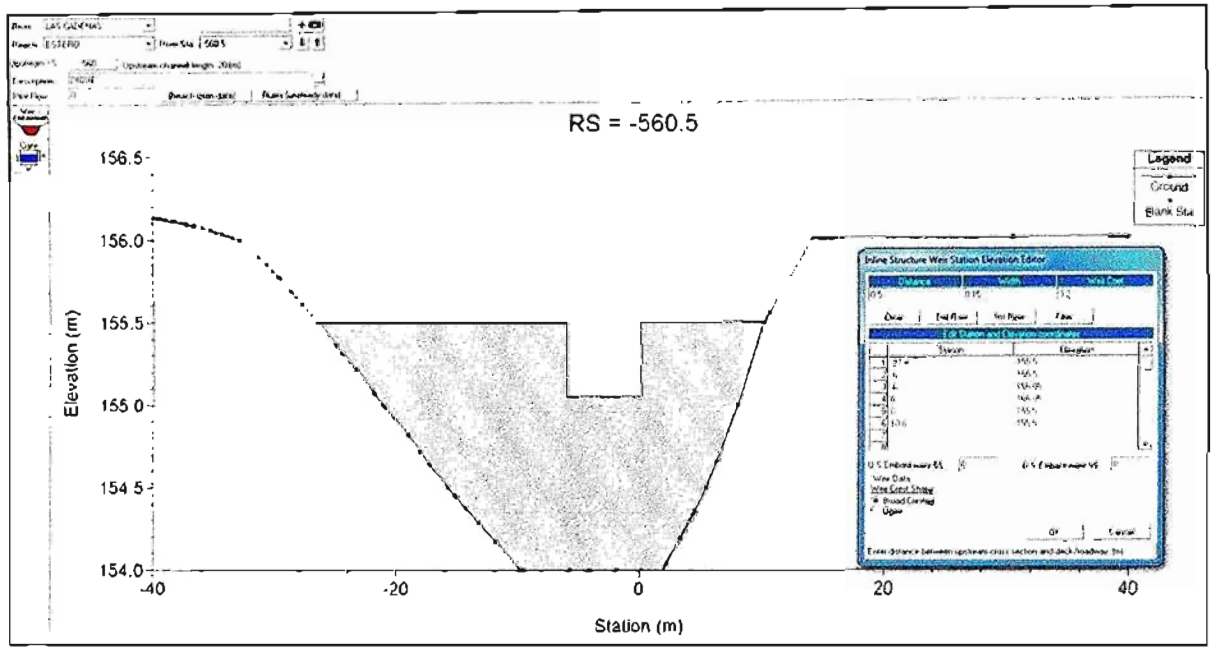
Cota de ingreso/salida : 151,7 (m.s.n.m.)

Cota rasante badén : 153,7 (m.s.n.m.)

Modelamiento Dique-Vertedero para la Situación con Proyecto

Se considera el elemento HEC-RAS *Inline Structure/Weir*, para el cual la geometría se define punto a punto. La siguiente figura muestra la pantalla de modelación correspondiente:

Figura 5.3: Modelación HEC-RAS del Dique-Vertedero



Es importante dejar establecido que el coeficiente descarga se ha fijado en el valor 3.2, el cual, de acuerdo al documento *HEC-RAS Reference Manual*, puede atribuirse a un labio de vertido aproximable tipo *ogee* o bien de pared delgada. Se cree que, dados los coeficientes dados por la fuente citada y la geometría real de los rollizos, el valor adoptado es adecuadamente conservador.

5.3.4.5 Dimensionamiento de la Sección de Vertedero

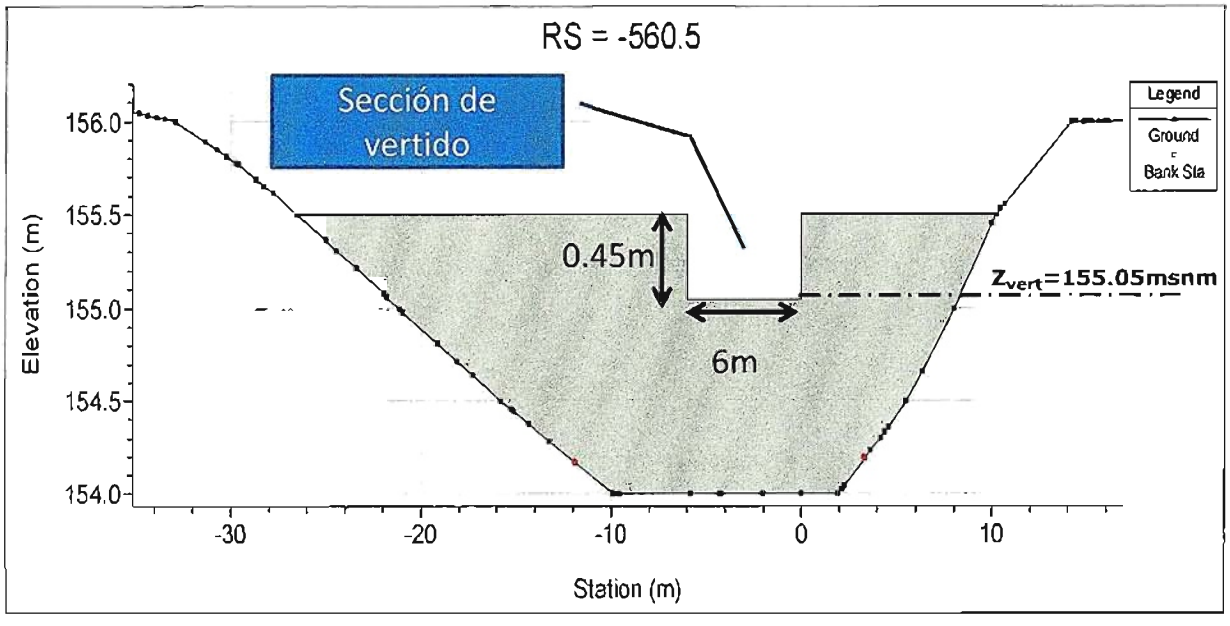
Como base para el dimensionamiento de la sección de vertedero, se deben trazar los siguientes lineamientos, compatibles entre sí:

- Tener una sección que permita aforar con precisión un rango razonable de caudales, en ajuste a las condiciones hídricas con la mayor probabilidad de ocurrencia posible.
- Tener una sección cuya respuesta hidráulica sea sensible dentro del rango de caudales seleccionado.

- Generar una sección que compatibilice la seguridad del entorno con un peralte hidráulico suficiente para favorecer la infiltración en la zona de recarga.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, y después de un proceso de prueba y error con el software HEC-RAS 4.1, se ha obtenido la sección de aforo que se muestra en la siguiente figura:

Figura 5.4 Sección de Vertedero Predimensionada (Imagen HEC-RAS 4.1)



Tal como puede desprenderse de la

Tabla 5.4Figura 5.4, se tiene que:

Longitud de vertedero : L_{vert} = 6,0 (m)

Altura de vertedero : H_{vert} =0,45 (m)

Cota de vertedero : Z_{vert} = 155,05 (m.s.n.m.)

Cota de coronamiento dique : Z_{Dique} = 155,5 (m.s.n.m.)

La implementación del modelo se hará de forma sencilla, condicionando el eje hidráulico desde aguas abajo en el punto donde se encuentra el cruce de camino, en el que el estero pasa por debajo de aquél mediante una sección en arco deformado de aproximadamente 1,9 (m) de altura y 2,6 (m) de ancho basal, tal como se señalara anteriormente.

Los caudales con que se ejecutará la simulación corresponden a los medios mensuales obtenidos en el estudio hidrológico del presente proyecto. Los meses y los caudales considerados son los que se muestran en la siguiente tabla:

5.3.4.6 Evaluación Hidráulica del Vertedero

Interesa conocer, dado el dimensionamiento dada a la sección de vertido, el rango de caudales que, efectivamente, es capaz de aforar; la condición fundamental para que dicha sección afore un caudal determinado, corresponde a aquella en que el vertido es libre, es decir, en donde no hay influencia desde aguas abajo.

Luego, el parámetro que permite evaluar tal condición, corresponde a la razón de sumergencia, dato arrojado como output por defecto de HEC-RAS.

Conviene recordar que, para los efectos de la serie de caudales implementados en el modelo, se consideró lo siguiente:

Profile 1: $Q(P_{exc}=50\%)_{junio}$ = 4,6 (m^3/s)

Profile 2: $Q(P_{exc}=50\%)_{julio}$ = 3,2 (m^3/s)

Profile 3: $Q(P_{exc}=50\%)_{agosto}$ = 2,3 (m^3/s)

Profile 4: $Q(P_{exc}=50\%)_{septiembre}$ = 0,9 (m^3/s)

Profile 5: $Q(P_{exc}=20\%)_{junio}$ = 12,6 (m^3/s)

Profile 6: $Q(P_{exc}=5\%)_{junio}$ = 33,0 (m^3/s)

Luego de ejecutar el modelo, se obtuvo como resultado lo que resume la imagen de la Figura 5.5.

Ahora bien, para validar que para el rango de caudales de aforo no existe sumergencia y que, efectivamente, dicho rango se puede aforar con precisión en la zona de curva de descarga, se recurre a los siguientes cuadros de salida HEC-RAS:

Tabla 5.3: Output HEC-RAS 4.1 Comportamiento Hidráulico de vertedero PF1 ($Q(Pexc=50\%)_{junio}$ = 4,6 (m^3/s))

Plan: 02 LAS CADENAS ESTERO RS: -560.5 Inl Struct: Profile: PF 1			
E.G. Elev (m)	155,43	Q Gates (m^3/s)	
W.S. Elev (m)	155,43	Q Gate Group (m^3/s)	0
Q Total (m^3/s)	4,60	Gate Open Ht (m)	154,92
Q Weir (m^3/s)	4,60	Gate #Open	
Weir Flow Area (m^2)	2,31	Gate Area (m^2)	0,09
Weir Sta Lft (m)	-6	Gate Submerg	0
Weir Sta Rgt (m)	0	Gate Invert (m)	0
Weir Max Depth (m)	0,38	Gate Weir Coef	0
Weir Avg Depth (m)	0,38		
Weir Coef	5,80	Q Breach (m^3/s)	
Weir Submerg	0	Breach Avg Velocity (m/s)	
Min El Weir Flow (m)	155,05	Breach Flow Area (m^2)	
Wr Top Wdth (m)	6		

Figura 5.5: Comportamiento del Vertedero – HEC-RAS 4.1

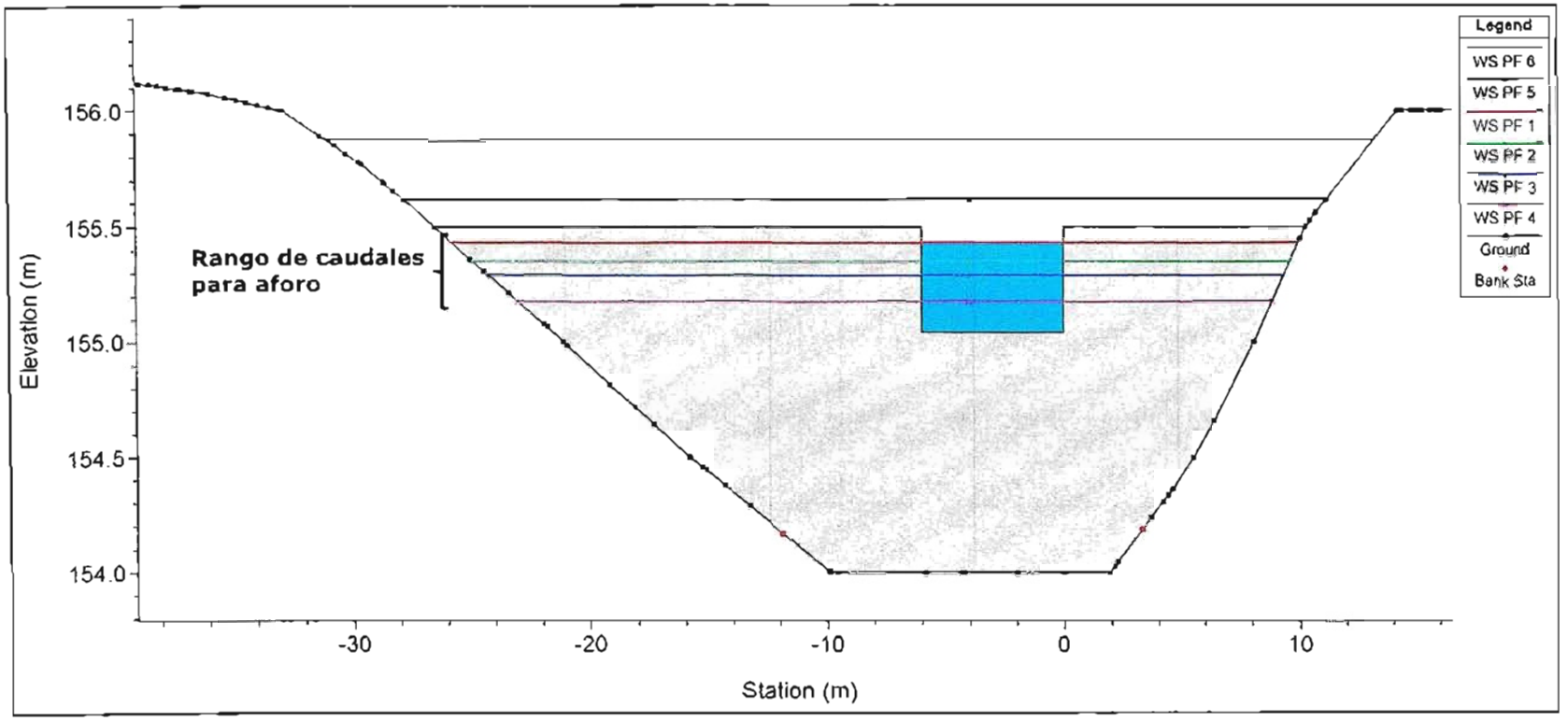


Tabla 5.4: Output HEC-RAS 4.1 Comportamiento Hidráulico de vertedero PF2 ($Q(Pexc=50\%)_{julio}$ = 3,2 (m^3/s))

Plan: 02 LAS CADENAS ESTERO RS: -560.5 Inl Struct: Profile: PF 2			
E.G. Elev (m)	155,35	Q Gates (m^3/s)	
W.S. Elev (m)	155,35	Q Gate Group (m^3/s)	0,04
Q Total (m^3/s)	3,20	Gate Open Ht (m)	0
Q Weir (m^3/s)	3,20	Gate #Open	0
Weir Flow Area (m^2)	1,83	Gate Area (m^2)	
Weir Sta Lft (m)	-6	Gate Submerg	0
Weir Sta Rgt (m)	0	Gate Invert (m)	0,30
Weir Max Depth (m)	0,30	Gate Weir Coef	1
Weir Avg Depth (m)	0,30		
Weir Coef	5,80	Q Breach (m^3/s)	
Weir Submerg	0	Breach Avg Velocity (m/s)	
Min El Weir Flow (m)	155,05	Breach Flow Area (m^2)	
Wr Top Wdth (m)	6		

Tabla 5.5: Output HEC-RAS 4.1 Comportamiento Hidráulico de vertedero PF3 ($Q(Pexc=50\%)_{agosto}$ = 2,3 (m^3/s))

Plan: 02 LAS CADENAS ESTERO RS: -560.5 Inl Struct: Profile: PF 3			
E.G. Elev (m)	155,29	Q Gates (m3/s)	
W.S. Elev (m)	155,29	Q Gate Group (m3/s)	0,03
Q Total (m^3/s)	2,30	Gate Open Ht (m)	0
Q Weir (m^3/s)	2,30	Gate #Open	0
Weir Flow Area (m^2)	1,45	Gate Area (m^2)	
Weir Sta Lft (m)	-6	Gate Submerg	0
Weir Sta Rgt (m)	0	Gate Invert (m)	0,30
Weir Max Depth (m)	0,24	Gate Weir Coef	1
Weir Avg Depth (m)	0,24		
Weir Coef	5,8	Q Breach (m^3/s)	
Weir Submerg	0	Breach Avg Velocity (m/s)	
Min El Weir Flow (m)	155,05	Breach Flow Area (m^2)	
Wr Top Wdth (m)	6		

Tabla 5.6: Output HEC-RAS 4.1 Comportamiento Hidráulico de vertedero PF4 ($Q(Pexc=50\%)_{Julio}$ = 0,9 (m^3/s))

Plan: 02 LAS CADENAS ESTERO RS: -560.5 Inl Struct: Profile: PF 4			
E.G. Elev (m)	155,18	Q Gates (m^3/s)	
W.S. Elev (m)	155,18	Q Gate Group (m^3/s)	0,03
Q Total (m^3/s)	0,90	Gate Open Ht (m)	0
Q Weir (m^3/s)	0,90	Gate #Open	0
Weir Flow Area (m^2)	0,78	Gate Area (m^2)	
Weir Sta Lft (m)	-6	Gate Submerg	0,01
Weir Sta Rgt (m)	0	Gate Invert (m)	0,30
Weir Max Depth (m)	0,13	Gate Weir Coef	1
Weir Avg Depth (m)	0,13		
Weir Coef	5,80	Q Breach (m^3/s)	
Weir Submerg	0	Breach Avg Velocity (m/s)	
Min El Weir Flow (m)	155,05	Breach Flow Area (m^2)	
Wr Top Wdth (m)	6		

En conclusión, para el rango de caudales de operación para aforo, el vertedero opera de manera libre, por lo que la curva de descarga, para dicho rango, permitirá calcular los caudales sin distorsión.

5.3.4.7 Evaluación del Peralte Hidráulico por Efecto del Dique hacia Aguas Arriba

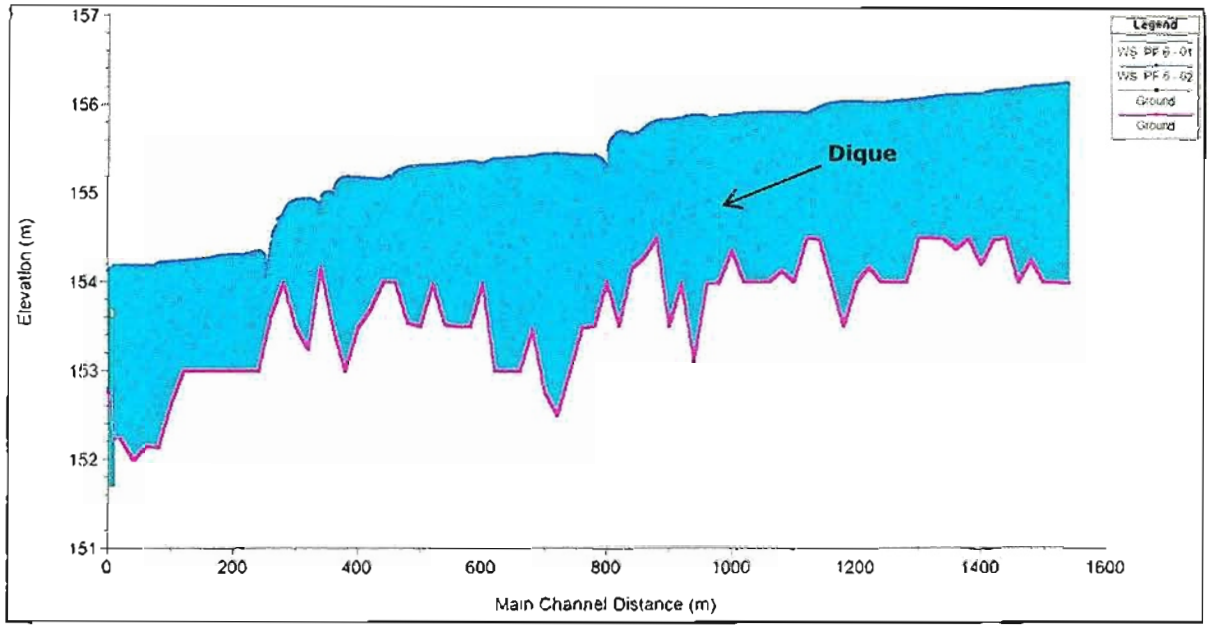
Efecto General del Dique hacia Aguas Arriba

El dique, naturalmente, generará un peralte del eje hidráulico hacia aguas arriba. Esto sucederá siempre y cuando la estructura no opere completamente ahogada, ya que en tal caso ésta no influenciará el eje hidráulico en ningún modo, produciéndose en la zona sólo un aumento en el perfil de velocidades, manteniéndose el nivel comandado desde aguas abajo (régimen de río).

Mediante la modelación hidráulica con y sin proyecto del PF6 ($Q(P_{exc}=5\%)_{junio}$ = 33 m^3/s) se puede dar cuenta de lo anterior. Esto se aprecia en la Figura 5.6, en que los ejes hidráulicos están prácticamente superpuestos.

Figura 5.6: Superposición Ejes Hidráulicos con y sin Proyecto

($Q(P_{exc}=5\%)_{junio}$ = 33 (m^3/s)) – HEC-RAS 4.1



Ante caudales menores, para los cuales no se produzca una sumergencia total, el dique influenciará el eje hidráulico hacia aguas arriba, peraltándolo en una cantidad $\Delta Z = Z_{c/p} - Z_{s/p}$ que tiende a disminuir conforme se avanza hacia las secciones de aguas arriba. Esto significa que, llegado cierto punto aguas arriba del dique, ambos ejes tienden a superponerse, desapareciendo la influencia hidráulica del dique.

Otro resultado importante de apreciar es que la magnitud del peralte ΔZ disminuye en la medida que el caudal circulante aumenta, y más rápidamente se produce la superposición de ejes entre los escenarios.

Estas tendencias de comportamientos se aprecian al superponer los ejes hidráulicos con y sin proyecto para los caudales *Profile 1*: $Q(P_{exc}=50\%)_{junio}$ = 4,6 (m^3/s) y *Profile 5*: $Q(P_{exc}=20\%)_{junio}$ = 12,6 (m^3/s). Las siguientes Figuras ilustran las situaciones descritas:

Figura 5.7:: Superposición Ejes Hidráulicos con y sin Proyecto

($Q(P_{exc}=50\%)_{junio}$ = 4,6 (m^3/s)) – HEC-RAS 4.1

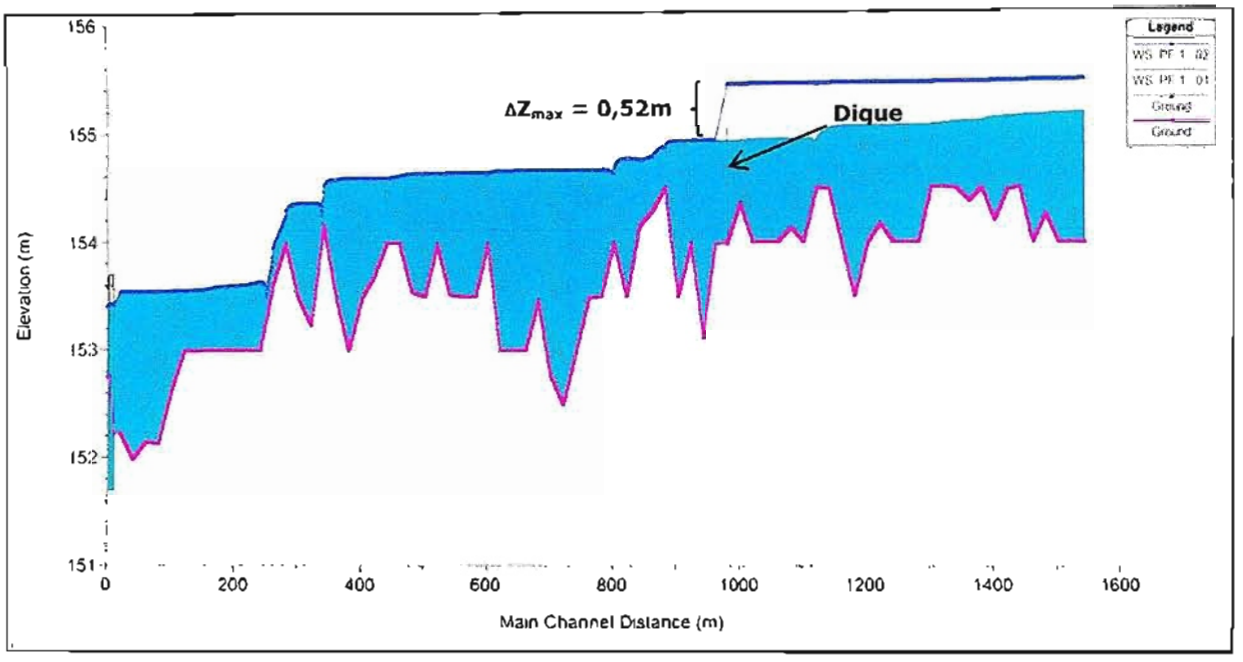
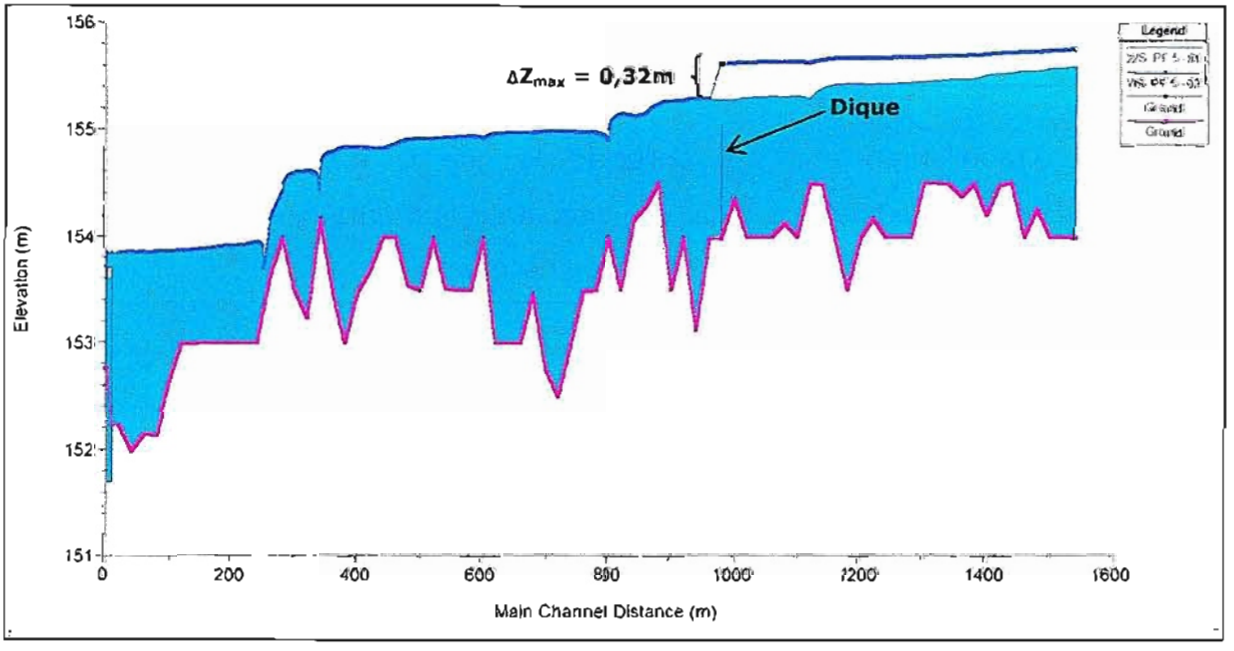


Figura 5.8: Superposición Ejes Hidráulicos con y sin Proyecto

($Q(P_{exc}=20\%)_{junio}$ = 12,5 (m^3/s)) – HEC-RAS 4.1



Análisis Seccional de Niveles para Situación Con Proyecto

Dicho todo lo anterior, aún interesa conocer si se produce la situación en que el nivel del agua, peraltado por la presencia del dique, supera la cota máxima de las riberas izquierda y derecha en las secciones de aguas arriba.

Para este propósito, se presenta a continuación la comparación entre las cotas izquierda y derecha correspondientes a las riberas de los perfiles aguas arriba del dique con los niveles de agua para los caudales simulados.

En consecuencia, a partir de los resultados, se observa que:

a) Para condición proyectada y caudales dentro del rango de aforo, no existe desborde por influencia del dique hacia aguas arriba.
b) Para condición proyectada y caudal con $P_{exc}(20\%) = 12{,}5$ (m^3/s), sólo se aprecia desborde en la sección "20". Este desborde, efectivamente, es ocasionado por la presencia del dique. En el siguiente numeral se efectúa un análisis más detallado de lo que sucede en esta sección.
c) Para condición proyectada y caudal con $P_{exc}(5\%) = 33$ (m^3/s), se produce desborde desde la sección "380" hacia aguas arriba. Se debe recalcar que este desborde, tal como se señalara anteriormente (ver Figura 5.6), no se debe al dique, puesto que, para este escenario, la sumergencia del 100% que se produce en dicha estructura anula su influencia. En otras palabras, el desborde se producirá en similar forma y magnitud para la situación base (sin proyecto).

Tabla 5.7: Análisis de Desborde con Proyecto

			PF 1		PF 2		PF 3		PF 4		PF 5		PF 6	
PERFIL TRANSVERSAL	$Z_{Rib\ Izq}$ (msnm)	$Z_{Rib\ Der}$ (msnm)	Z_{H2O} (msnm)	DESBORDE	Z_{H2O} (msnm)	DESBORDE	Z_{H2O} (msnm)	DESBORDE	Z_{H2O} (msnm)	DESBORDE	Z_{H2O} (msnm)	DESBORDE	Z_{H2O} (msnm)	DESBORDE
20	155,68	155,99	155.47	NO	155,38	NO	155,31	NO	155,18	NO	155,74	Si	156,22	SI
40	155,91	156,00	155.47	NO	155,38	NO	155,31	NO	155,18	NO	155,73	NO	156,21	SI
60	155,99	156,00	155.46	NO	155,37	NO	155,31	NO	155,18	NO	155,72	NO	156,20	SI
80	155,99	155,99	155.46	NO	155,37	NO	155,31	NO	155,18	NO	155,72	NO	156,17	SI
100	156,00	156,00	155.46	NO	155,37	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,71	NO	156,16	SI
120	156,00	156,00	155.46	NO	155,37	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,71	NO	156,15	SI
140	155,99	156,00	155.46	NO	155,37	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,70	NO	156,11	SI
160	156,00	155,99	155.45	NO	155,37	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,69	NO	156,11	SI
180	156,00	156,00	155.45	NO	155,37	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,69	NO	156,10	SI
200	156,00	156,00	155.45	NO	155,37	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,68	NO	156,10	SI
220	156,00	156,00	155.45	NO	155,36	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,68	NO	156,08	SI
240	156,00	156,00	155.45	NO	155,36	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,67	NO	156,05	SI
260	156,00	156,00	155.45	NO	155,36	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,67	NO	156,04	SI
280	156,28	156,00	155.45	NO	155,36	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,67	NO	156,03	SI
300	156,50	156,00	155.45	NO	155,36	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,66	NO	156,01	SI
320	156,50	156,00	155.45	NO	155,36	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,66	NO	156,01	SI
340	156,49	156,00	155.45	NO	155,36	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,66	NO	156,02	SI
360	156,49	155,99	155.45	NO	155,36	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,66	NO	156,02	SI
380	156,49	156,00	155.45	NO	155,36	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,66	NO	156,01	SI
400	156,50	156,31	155.44	NO	155,36	NO	155,30	NO	155,18	NO	155,64	NO	155,96	NO
420	156,50	156,44	155.43	NO	155,35	NO	155,29	NO	155,18	NO	155,62	NO	155,89	NO
440	156,50	156,00	155.44	NO	155,36	NO	155,29	NO	155,18	NO	155,62	NO	155,91	NO
460	156,49	156,00	155.44	NO	155,35	NO	155,29	NO	155,18	NO	155,62	NO	155,90	NO
480	156,49	156,00	155.44	NO	155,36	NO	155,29	NO	155,18	NO	155,62	NO	155,91	NO
500	156,50	155,99	155.44	NO	155,35	NO	155,29	NO	155,18	NO	155,62	NO	155,90	NO
520	156,49	156,00	155.43	NO	155,35	NO	155,29	NO	155,18	NO	155,62	NO	155,89	NO
540	156,49	156,00	155.43	NO	155,35	NO	155,29	NO	155,18	NO	155,61	NO	155,87	NO
560	156,00	156,00	155.43	NO	155,35	NO	155,29	NO	155,18	NO	155,61	NO	155,87	NO
560.5	DIQUE-VERTEDERO PROYECTADO													

Análisis Seccional del Perfil Transversal 20

Para los rangos de caudal y perfiles transversales hasta aquí estudiados, la sección "20" del estero Las Cadenas, ubicada unos 540 (m) aguas arriba del dique, corresponde a la sección crítica de desborde, ya que es la primera en fallar bajo escenario con proyecto ante la avenida de un caudal igual o mayor a aquél con probabilidad de excedencia P_{exc} = 20%.

En este apartado, se hará un análisis un poco más profundo, a fin de determinar a partir de qué caudal se produce el desborde en esta sección, bajo situación sin y con proyecto.

DESBORDE SIN PROYECTO EN LA SECCIÓN "20"

A partir de simulaciones sucesivas de la situación base con HEC-RAS, se busca el caudal a partir del cual se produce el desborde en la sección "20". En la siguiente tabla se muestran los resultados.

Tabla 5.8: Análisis de Desborde Sección "20" Sin Proyecto

PERFIL TRANSVERSAL	$Z_{Rib\ Izq}$ (msnm)	$Z_{Rib\ Der}$ (msnm)	Z_{H2O} SIN PROYECTO (msnm)			
			Q = 10 (m^3/s)	Q = 11 (m^3/s)	Q = 14 (m^3/s)	Q = 16 (m^3/s)
20	155,68	155,99	155,47	155,51	155,63	155,71
¿DESBORDE SITUACIÓN BASE?			NO	NO	NO	SI

Es decir, para el escenario sin proyecto, la sección comienza a desbordarse con caudales superiores a 14 (m^3/s).

DESBORDE CON PROYECTO EN LA SECCIÓN "20"

Análogamente al caso anterior, se busca el caudal a partir del cual comienza a haber inundación en la sección "20"; para ello, se simula de forma sucesiva la situación proyectada, obteniéndose:

Tabla 5.9: Análisis de Desborde Sección "20" Con Proyecto

PERFIL TRANSVERSAL	$Z_{Rib\ Izq}$ (msnm)	$Z_{Rib\ Der}$ (msnm)	Z_{H2O} CON PROYECTO (msnm)			
			Q = 6 (m^3/s)	Q = 8 (m^3/s)	Q = 10 (m^3/s)	Q = 11 (m^3/s)
20	155,68	155,99	155,55	155,61	155,67	155,70
¿DESBORDE DE PROYECTO?			NO	NO	NO	SI

Luego, se aprecia que, ante la presencia del dique, el caudal a partir del cual comienza a producirse desborde en la sección "20", es de 11 (m^3/s). La diferencia de cota que toma el pelo de agua en esta situación con respecto a la cota superficial de la línea base (sin proyecto) es de 0,19 (m).

5.3.5 Procedimiento de Control y Análisis del Sistema

Se plantea a continuación el modo en que deben ser tratados los datos extraídos desde terreno, a partir de las lecturas y mediciones efectuadas por los instrumentos y elementos de control dispuestos para tales fines.

El primer paso es diferenciar los datos a extraer de terreno y cuáles son los parámetros fundamentales relacionados con ellos. Estos datos de terreno se pueden separar en dos clases:

a) Datos directos: aquellos que son registrados directamente por los instrumentos destinados para ello.

b) Datos indirectos: aquellos que se obtienen a partir de los datos directos, previo tratamiento o cálculo.

En consecuencia, se tiene lo siguiente:

DATOS DIRECTOS:

i. Hora: aquella a la que registra todos y cada uno de los datos, ya sean directos o indirectos. Es del todo necesario escoger un Δt lo suficientemente pequeño tal que permita un análisis continuo de los datos.

ii. Serie de tiempo de caudales afluentes Q_{Afl} → Se obtiene a partir de lo registrado en los sistemas de aforo en los puntos ST-2 y ST-3.

iii. Serie de tiempo de niveles h_p en la laguna de infiltración → Se obtiene a partir de lo registrado mediante transductor de presión, ubicado en el fondo de la laguna de infiltración.

iv. Serie de tiempo de niveles en pozos de observación N_p → Aquella serie que se obtiene mediante la lectura directa de niveles, mediante transductores de presión.

Un ejemplo conceptual de la toma de datos directos, es la que se muestra a continuación:

DATOS INDIRECTOS:

i. Serie de caudales de demasías en la laguna de infiltración Q_{Vert} → Se obtiene al relacionar el nivel de aguas al interior de la laguna (registrado por el transductor de presiones), con la carga hidráulica sobre el vertedero evacuador del dique.

De acuerdo a la teoría general de vertederos con descarga libre, la curva de descarga es (Q_{Vert} [l/s] ; H_o [m]):

$$Q = m \cdot b \cdot H_o \cdot \sqrt{2g H_o}$$

en que ***m*** es el coeficiente de descarga del vertedero no influenciado, ***b*** corresponde a la longitud del vertedero

Dado que el transductor de presiones registra h_p, y que la altura del labio vertedor es de 1,05 (m), luego se debe evaluar H_o considerando que:

$$h_p = 1{,}05 + H_o$$

ii. Variación del nivel en la piscina con el tiempo $\Delta h_P/\Delta t$

En consecuencia, la tabla de datos (tanto directos como indirectos) de terreno, debería tener la siguiente forma (ver Tabla 5.10).

Tabla 5.10: Tabla Tipo con Datos Directos e Indirectos de Terreno

DATOS DIRECTOS DE TERRENO					DATOS INDIRECTOS	
HORA	Δt	Q_{Afl}	h_p	N_p	Q_{Vert}	$\Delta h_p/\Delta t$
t_0	⋮	$Q_{Afl,0}$	$h_{P,0}$	$N_{P,0}$	$Q_{Vert,0}$	$(\Delta h_p/\Delta t)_0$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
t_{i-1}	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
t_i	$t_i - t_{i-1}$	$Q_{Afl,i}$	$h_{P,i}$	$N_{P,i}$	$Q_{Vert,i}$	$(\Delta h_p/\Delta t)_i$
t_{i+1}	$t_{i+1} - t_i$	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
t_n	⋮	$Q_{Afl,n}$	$h_{P,n}$	$N_{P,i}$	$Q_{vert,n}$	$(\Delta h_p/\Delta t)_n$

Llegado este punto, es necesario recordar que las variables de precipitación y evaporación no se contemplan como parámetros controlados por el PPRAA; por este motivo, dichos factores no se consideran dentro de este desarrollo.

Ahora bien, dicho lo anterior, lo que interesa es encontrar el caudal infiltrado en la laguna Q_{Inf}. Para esto, es necesario estudiar el modo en que el nivel varía en el tiempo y relacionar dicha variación con los volúmenes de ingreso y salida.

Sea $V_P = f(h_P)$ el volumen al interior de la laguna de infiltración en función del nivel de aguas h_P. Al aplicar la teoría de razón de cambio y regla de la cadena, se obtiene lo siguiente:

$$V_P = f(h_P) \mid d/dh_P$$

$$\frac{dV_P}{dh_P} = \frac{df(h_P)}{dh_P} \mid \frac{dh_P}{dt}$$

$$\frac{dV_P}{dt} = \frac{df(h_P)}{dh_P} \cdot \frac{dh_P}{dt}$$

Luego, llevando el resultado anterior al campo discreto y evaluando para un intervalo de tiempo i, se puede establecer que:

$$\left(\frac{\Delta V_P}{\Delta t}\right)_i = \left.\frac{df(h_P)}{dh_P}\right|_{hp(t=ti)} \cdot \left(\frac{\Delta h_P}{\Delta t}\right)_i$$

Finalmente, para todo t, la manera en que se relacionan los flujos de entrada y salida con $\Delta V_P/\Delta t$ es:

$$Q_{Afl} - Q_{Vert} - Q_{Inf} = \frac{\Delta V_P}{\Delta t}$$

Es decir, el caudal que se infiltra corresponde a:

$$Q_{Inf} = Q_{Afl} - Q_{Vert} - \frac{\Delta V_P}{\Delta t}$$

La tabla de datos y resultados se asemeja a la Tabla 5.11:

Tabla 5.11: Tabla Tipo de Datos y Resultados

DATOS DIRECTOS DE TERRENO					DATOS INDIRECTOS		CÁLCULOS		
HORA	Δt	Q_{Afl}	h_p	N_p	Q_{vert}	$\Delta h_p/\Delta t$	$df(h_p)/dh_p$	$\Delta V_p/\Delta t$	Q_{inf}
t_0	⋮	$Q_{Afl,0}$	$h_{P,0}$	$N_{P,0}$	$Q_{Afl,0}$	$(\Delta h_p/\Delta t)_0$			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮			
t_{i-1}	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮			
t_i	$t_i - t_{i-1}$	$Q_{Afl,i}$	$h_{P,i}$	$N_{P,i}$	$Q_{Vert,i}$	$(\Delta h_p/\Delta t)_i$			
t_{i+1}	$t_{i+1} - t_i$	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮			
t_n	⋮	$Q_{Afl,n}$	$h_{P,n}$	$N_{P,i}$	$Q_{vert,n}$	$(\Delta h_p/\Delta t)_n$			

La variable N_P deberá ser correlacionada con la variación volumétrica del acuífero en recarga y comparar las fluctuaciones detectadas con los volúmenes infiltrados a través del lecho filtrante de la piscina.

Será importante no sólo evaluar la variable volumétrica, sino que también la variable temporal, esto es, el desfase en tiempo que se produce entre la infiltración y la respuesta efectiva del acuífero.

5.3.6 Sobre la Determinación del Volumen de Control

Dado que el volumen a contener a través del dique es de geometría irregular, se recomienda elaborar una curva de embalse en el área del espejo de agua. Para ello, tomando los puntos correspondientes de la malla TIN del levantamiento topográfico, se delimitan superficies equipotenciales entre la cota más baja y la más alta del volumen de control, distanciadas a una diferencia altimétrica pequeña.

Supóngase que las superficies equipotenciales se denominan correlativamente desde la cota más baja a la más alta. Luego, el volumen encerrado entre las equipotenciales consecutivas con cota Z_{i+1} y Z_i, con áreas respectivas A_{i+1} y A_i, corresponde a:

$$V_{i+1} = \left(\frac{A_{i+1} + A_i}{2} \right) \cdot (Z_{i+1} - Z_i)$$

Con esto, el volumen V^T_i acumulado a la cota Z_i, vendrá dado por:

$$V_i^T = \sum_{i=1}^{i} V_i$$

Conocidos los pares (V^T_i , Z_i), mediante regresión no lineal de datos se puede obtener el polinomio de interpolación para la curva de datos.

5.3.7 Comentarios sobre la Variable Pluviométrica

Las variables consideradas para el control volumétrico corresponden, de acuerdo al diseño conceptual, a los caudales que ingresan al sistema por la obra de toma, dejando afuera las variables de precipitación y evaporación.

Dado que el efecto de las precipitaciones puede ser considerable (no tanto así la incidencia de la evaporación), se recomienda seguir una de las siguientes alternativas:

- Incorporar la medición de la variable con instrumentos apropiados e incorporar la variable en el procedimiento de análisis y control.
- Si no se considera la precipitación, aislar los efectos de los datos tomados en terreno. Una forma de hacer esto es eliminando las series de tiempo cercanas eventos de precipitación.

6 EJECUCIÓN DEL PROYECTO BALSA ESTERO LAS CADENAS

6.1 Construcción de Obras Civiles

Con la finalidad de aprovechar las lluvias de invierno, se planifico la construcción de un dique que permitiera represar en forma piloto el Estero Las Cadenas.

Esta obra se ejecutó en el mes de julio, bajo condiciones climáticas que, a ratos, atentaban contra la planificación, avance y construcción de la misma. No obstante, las obras se ejecutaron según lo planificado y en el tiempo estimado.

- El día 2 de Julio se comienza a trabajar con Retro Excavadora en la despeje y habilitación del camino, para permitir el acceso y transporte de materiales a la zona de construcción. Estos trabajos no estuvieron exentos de dificultades producto del mal estado del suelo, situación que al correr de los días, se agudizaría más.

Figura 6.1: Fotografía 1

- El día 3 de julio comienzan a ejecutarse las obras en Estero Las Cadenas, para lo cual, se procede a desviar cauce hacia la ribera Sur con la ayuda de maquinaria que permitiera formar un tapón artificial a 10 (m) aguas arriba, pudiendo de esta forma trabajar en la zona de construcción del muro.

Figura 6.2: Fotografía 2

- El día 3 de julio comienzan trabajos de excavación en la zona donde se emplazará el muro de gaviones, para lo cual con la ayuda de excavadora y motobombas se procede a despejar, bombear agua y nivelar fundación de gaviones, la cual es cubierta con geotextil.

Figura 6.3: Fotografía 3

Figura 6.4: Fotografía 4

- El día 4 de julio, se procede a la instalación de Geomembrana, gaviones basales de 3x1x1 (m) e hincado de Pilotes del Muro (rollizos de 3xØ).

Figura 6.5: Fotografía 5

- El 5 de julio se comienza con la instalación del muro de madera construido en base a Rollizos de Madera de 3 (m) x 6Ø.

El muro está compuesto de 12 rollizos hincados en forma vertical (1,5 (m) aproximado de profundidad), 42 rollizos en forma horizontal, afianzados a verticales mediante pernos hexagonales de acero inoxidable, de ½ x 14 pulgadas de largo. El muro además es revestido completamente con geotextil y geomembrana (HDPE) en 2 (mm) de espesor.

Figura 6.6: Fotografía 6

- El 8 de julio se procede con la instalación de la tubería donde se alojará el sensor de medición de caudal, la cual se fija a una profundidad de 90 (cm). bajo la cota superior del muro.

Figura 6.7: Fotografía 7

- El día 10 y 11 de julio se procede a cerrar paso de Estero en Ribera Sur, para de esta forma permitir la construcción de la Etapa Sur del muro.

Los trabajos desarrollados en esta etapa, debieron ejecutarse rápidamente, ya que el caudal del Estero, no nos permitiría trabajar con mucho margen de horas.

Se instala Geotextil, Geomembrana y Gaviones.

Figura 6.8: Fotografía 8

Figura 6.9: Fotografía 9

Figura 6.10: Fotografía 10

Figura 6.11: Fotografía 11

El día 12 al 13 de julio, finalizan los trabajos en la zona, comenzando a tomar carga el Estero y comenzar a operar el vertedero.

Figura 6.12: Fotografía 12

Figura 6.13: Fotografía 13

6.2 Construcción y Habilitación de Pozos de Monitoreo

Se implementaron 5 pozos de monitoreo de 6" y 12 (m) de profundidad (En el Anexo G se presenta los planos de habilitación de los pozos de monitoreo), con el objetivo de registrar las variaciones del nivel de napa como consecuencia de la implementación del proyecto. En los pozos se habilitaron tubos ranurados de PVC y dentro de ellos, para registrar en forma permanente la variación del nivel de napa, se instalaron sensores hidrostáticos de presión (data logger). La información de niveles se rescató y procesó luego de dos semanas de registro. La perforación de los pozos se realizó mediante tricono en diámetro de 6". La inspección visual y análisis estratigráfico se realizó sobre muestras extraídas en cada metro de perforación.

Figura 6.14: Habilitación Pozo PM4

La red piezométrica incluye además el monitoreo de cinco puntos más de monitoreo, entre norias y pozos habilitados con anterioridad en la zona, cuya información fue registrada con pozómetro cada dos semanas en promedio.

En el Anexo H se presentan las fichas estratigráficas de los pozos habilitados, para el monitoreo de niveles del acuífero en el área de estudio. También en las fichas se puede encontrar la clasificación USCS del material encontrado. Además en la Tabla 6.1, se presenta la Conductividad Hidráulica teórica asociada al material registrado.

Tabla 6.1: Conductividad Hidráulica según Material.

Calcificación USCS	Conductividad Hidráulica (cm/s)
GP	1,00E-1
GW	1,00E-2
SP	1,00E-3
SM-SC	1,00E-4
CL	1,00E-5
ML-CL	1,00E-5
CH	1,00E-6

Muestra de Registros Fotográficos Levantamiento Pozos CP-JULIO 2014

En las figuras a continuación se presenta la red de monitoreo con su respectiva información de nivel, y registro de profundidad freática registrada en su habilitación.

Figura 6.15: Descripción Pozo Monitoreo PM1

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256.350,00	6.192.158,00
Fecha	20/08/2014
Tipo de pozo	Monitoreo CP
Prof. Freática	3,9 (m)
Nivel Freático	156,3 (m.s.n.m.)
ID Pozo	Pozo PM1

Figura 6.16: Descripción Pozo Monitoreo PM2

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256.572,00	6.192.463,00
Fecha	20/08/2014
Tipo de pozo	Monitoreo CP
Prof. Freática	4,28 (m)
Nivel Freático	156,3 (m.s.n.m.)
ID Pozo	Pozo PM2

Figura 6.17: Descripción Pozo Monitoreo PM3

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256.412,00	6.192.369,00
Fecha	20/08/2014
Tipo de pozo	Monitoreo CP
Prof. Dinámica	2,1 (m)
Nivel Freático	156,4 (m.s.n.m.)
ID Pozo	Pozo PM3

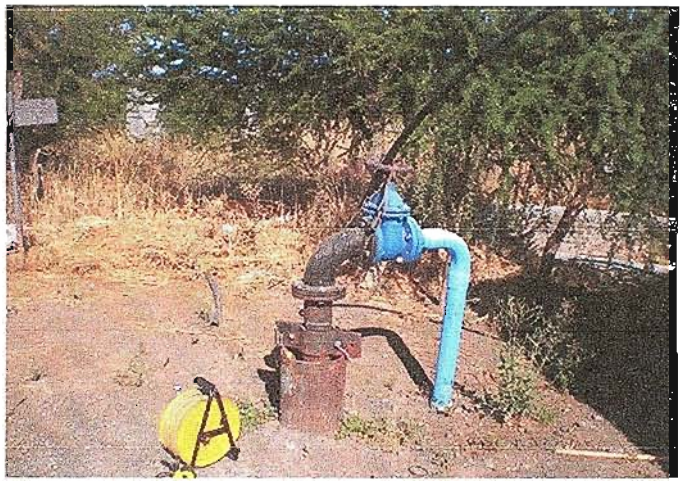
Figura 6.18: Descripción Pozo Monitoreo PM4

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256.390,00	6.192.486,00
Fecha	20/08/2014
Tipo de pozo	Monitoreo CP
Prof. Freática	4 (m)
Nivel Freático	156,7 (m.s.n.m.)
ID Pozo	Pozo PM4

Figura 6.19: Descripción Pozo Monitoreo PM5

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256.791.00	6.192.398,00
Fecha	20/08/2014
Tipo de pozo	Monitoreo CP
Prof. Freática	4,6 (m)
Nivel Freático	156,1 (m.s.n.m.)
ID Pozo	Pozo PM5

Figura 6.20: Descripción Pozo Monitoreo PME1



Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256.525,00	6.192.776,00
Fecha	25/06/2014
Tipo de pozo	Monitoreo CP
Prof. Freática	5,68 (m)
Nivel Freático	157,6 (m.s.n.m.)
ID Pozo	Pozo PME 1

Figura 6.21: Descripción Pozo Monitoreo PME2

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256.243,00	6.192.541,00
Fecha	25/06/2014
Tipo de pozo	Monitoreo CP
Prof. Freática	5,15 (m)
Nivel Freático	157,2 (m.s.n.m.)
ID Pozo	PME 2

Figura 6.22: Descripción Pozo Monitoreo PME3

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256.416,00	6.192.865,00
Fecha	25/06/2014
Tipo de pozo	Monitoreo CP
Prof. Freática	6,13 (m)
Nivel Freático	158,1 (m.s.n.m.)
ID Pozo	PME 3

Figura 6.23: Descripción Pozo Monitoreo PME4

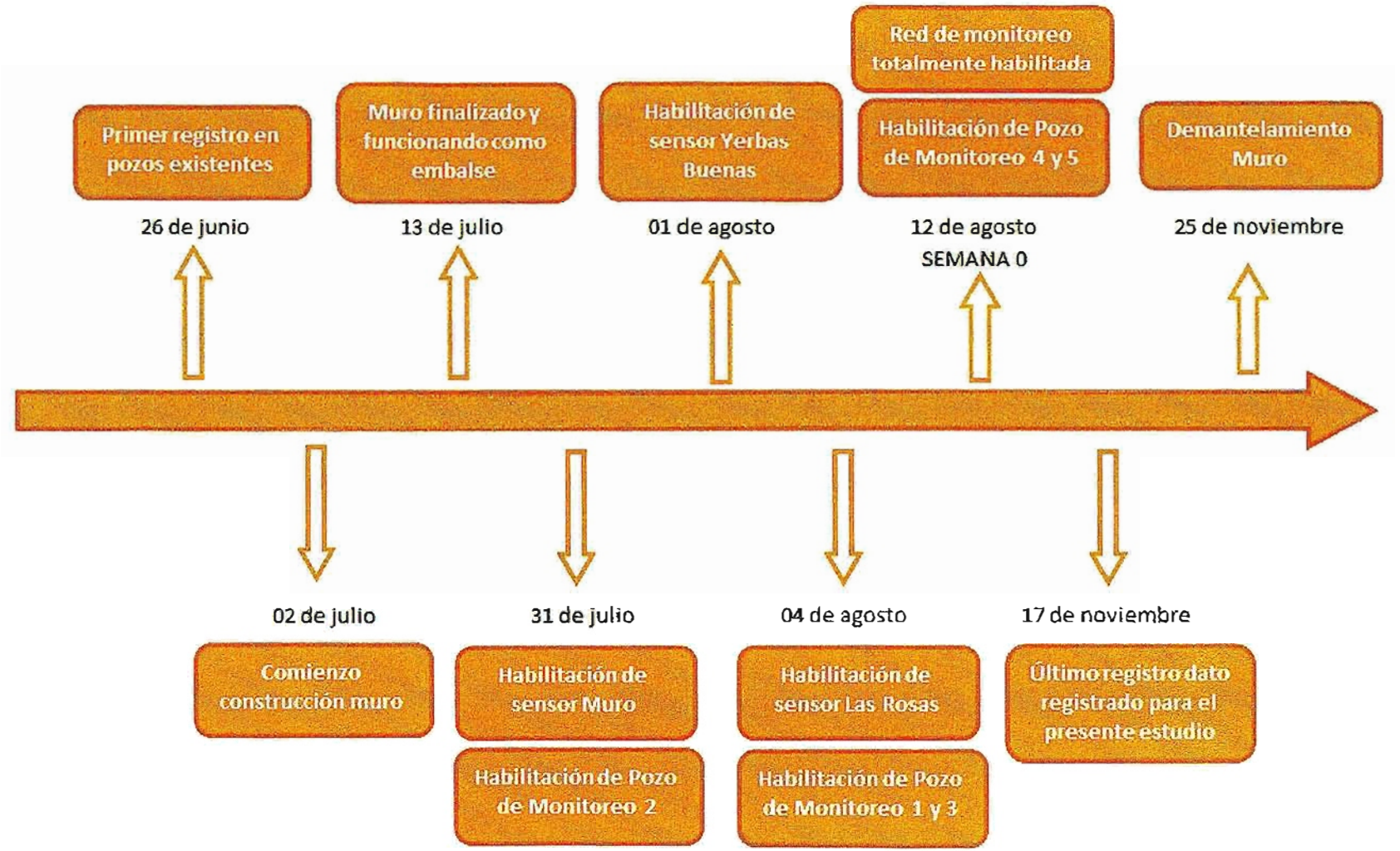
Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256.518,00	6.192.780,00
Fecha	25/06/2014
Tipo de pozo	Monitoreo CP
Prof. Freática	5,48 (m)
Nivel Freático	157,6 (m.s.n.m.)
ID Pozo	PME 4

Figura 6.24: Descripción Pozo Monitoreo PME5

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256.378,00	6.192.825,00
Fecha	25/06/2014
Tipo de pozo	Monitoreo CP
Prof. Freática	6,7 (m)
Nivel Freático	158,1 (m.s.n.m.)
ID Pozo	PME5

En la Figura 6.25 se presenta la línea de tiempo de los principales hitos durante el desarrollo y habilitación de la red de monitoreo y construcción del muro en Estero Las Cadenas.

Figura 6.25: Línea de Tiempo



7 PROGRAMA DE MONITOREO

La red de monitoreo está compuesta por 3 sensores niveles superficiales dispuestos en los Esteros Yerbas Buenas, Las Rosas, y en el muro Estero Las Cadenas, los cuales tienen la finalidad de controlar el sistema de recarga. Para el monitoreo de fluctuación de la napa, se monitorean 5 pozos existentes cercanos al área de estudio los cuales son medidos periódicamente, más otros 5 pozos habilitados e instrumentados con sensores de presión hidrostática con medición continua cada 10 minutos.

Figura 7.1: Técnico Con Potencial Extrayendo Registros de Niveles en Pozo PM2

A continuación se describirán con más detalle la red completa de monitoreo instalada:

7.1 Mediciones de Niveles Superficiales en Esteros

Se instalaron 3 sensores de presión hidrostática instrumentos tienen una precisión aún mayor que sus pares instalados para medir niveles en los pozos, pudiendo registrar con un grado de exactitud subdecimal, su ubicación es

representada en la Lámina 7.1 además del área total de infiltración generada por la solución del apresamiento de agua en el Estero Las Cadenas.

Los instrumentos instalados se muestran en las siguientes Figuras:

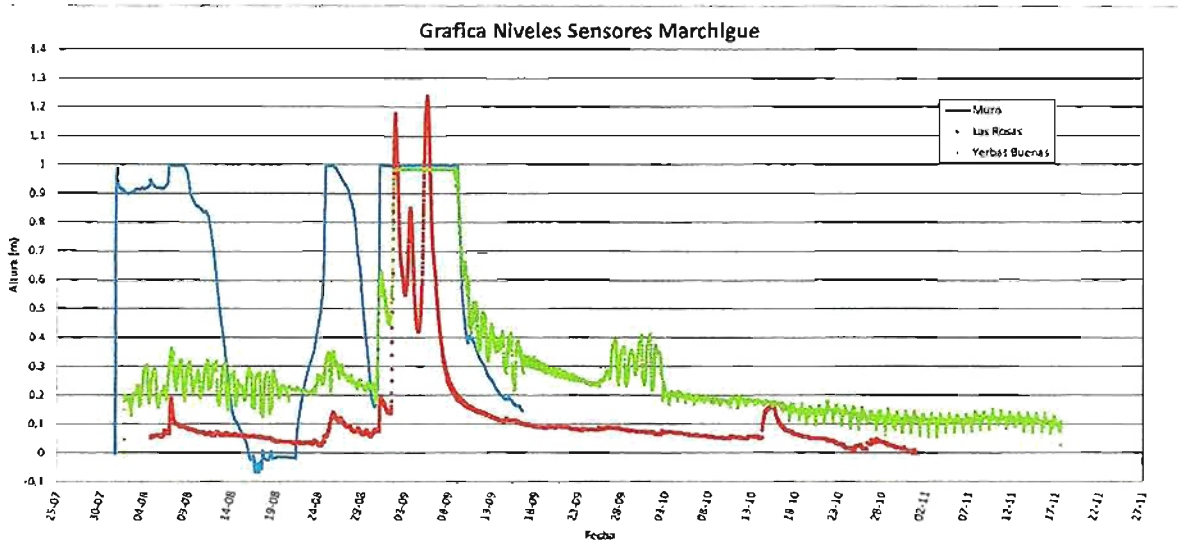
Figura 7.2: Sensor Instalado en Dique Estero Las Cadenas

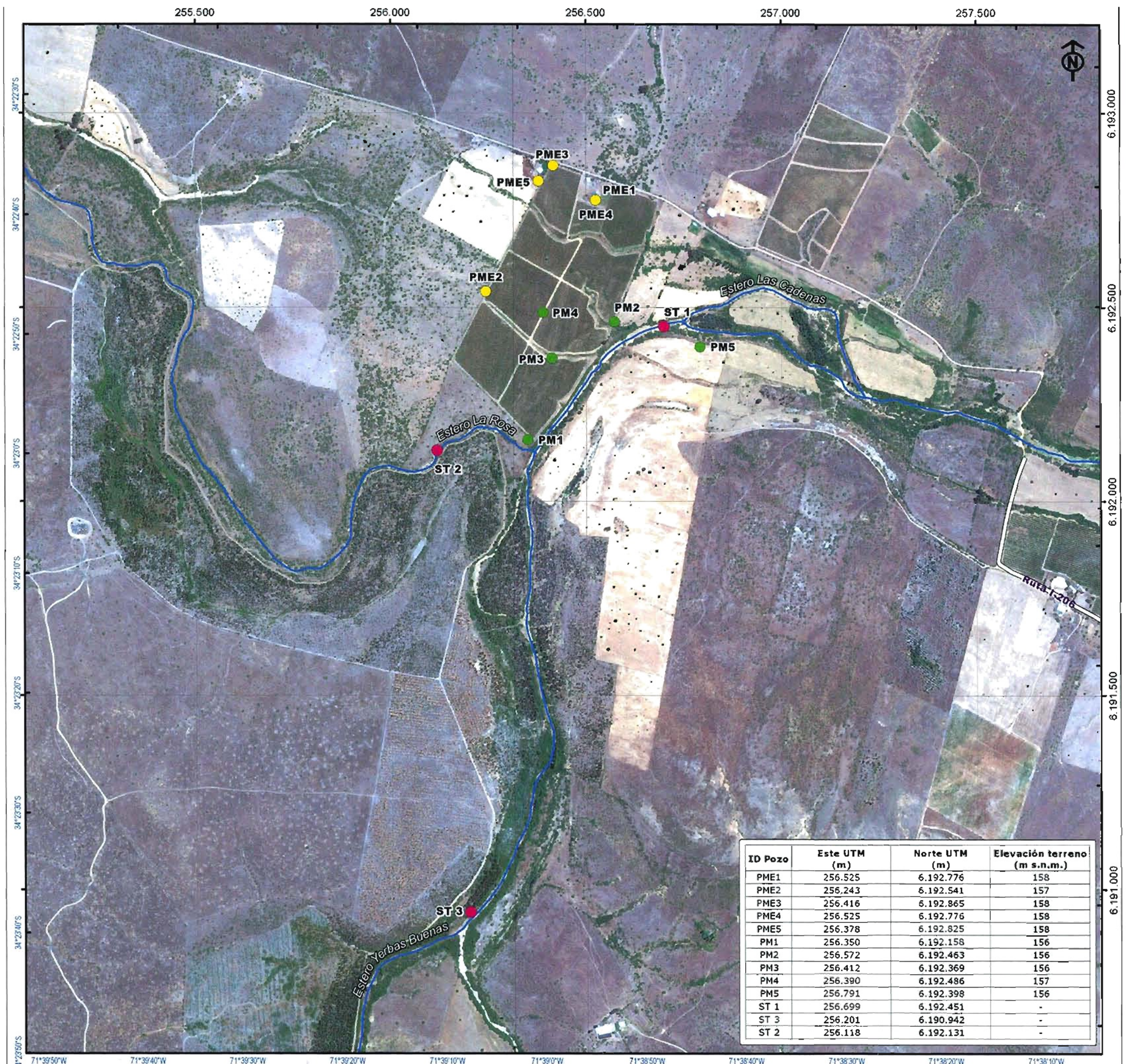
Figura 7.3: Sensor Instalado en Estero Las Rosas

Figura 7.4: Sensor Instalado en Estero Yerbas Buenas

En la Figura 7.5 se observan las mediciones registradas por los instrumentos, desde el día de instalación hasta el 16-10-2014 completando 9 semanas de registros.

Figura 7.5: Gráficas de Niveles Superficiales en Esteros





ID Pozo	Este UTM (m)	Norte UTM (m)	Elevación terreno (m s.n.m.)
PME1	256.525	6.192.776	158
PME2	256.243	6.192.541	157
PME3	256.416	6.192.865	158
PME4	256.525	6.192.776	158
PME5	256.378	6.192.825	158
PM1	256.350	6.192.158	156
PM2	256.572	6.192.463	156
PM3	256.412	6.192.369	156
PM4	256.390	6.192.486	157
PM5	256.791	6.192.398	156
ST 1	256.699	6.192.451	-
ST 3	256.201	6.190.942	-
ST 2	256.118	6.192.131	-

SIMBOLOGÍA BASE

Hidrografía

Drenaje
- Estero
- Quebrada Intermitente
- Canal

Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal
- Poblado
- Área urbana

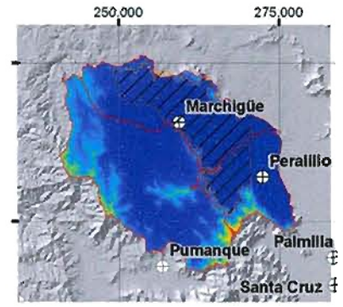
Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Tipo de Análisis
- Instrumento medición Altura libre en Estero
- Pozo existente
- Pozo instrumentado

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Elevación (m)
- Máx. : 900
- Mín. : 120

Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Ubicación de intrumentos de monitoreo

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina7.1_Red de Monitoreo de Niveles.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

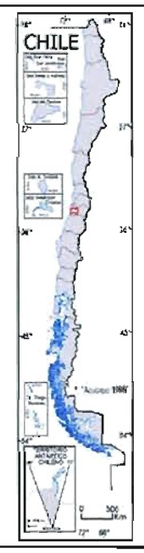


LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
7.1 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 100 200 400 m ESCALA 1:10.000

7.2 Meteorología

A partir de la información proporcionada por el Servicio de estaciones DGA en Tiempo Real, existen tres (3) estaciones pluviométricas cercanas a la zona en estudio: Río Cachapoal en Puente Arqueado, San Fernando y Laguna de Torca (ver Figura 7.6.), en la Tabla 7.1 se presenta su ubicación relativa a la zona en estudio.

Figura 7.6: Estaciones Pluviométricas en Tiempo Real Cercanas al Área de Estudio.

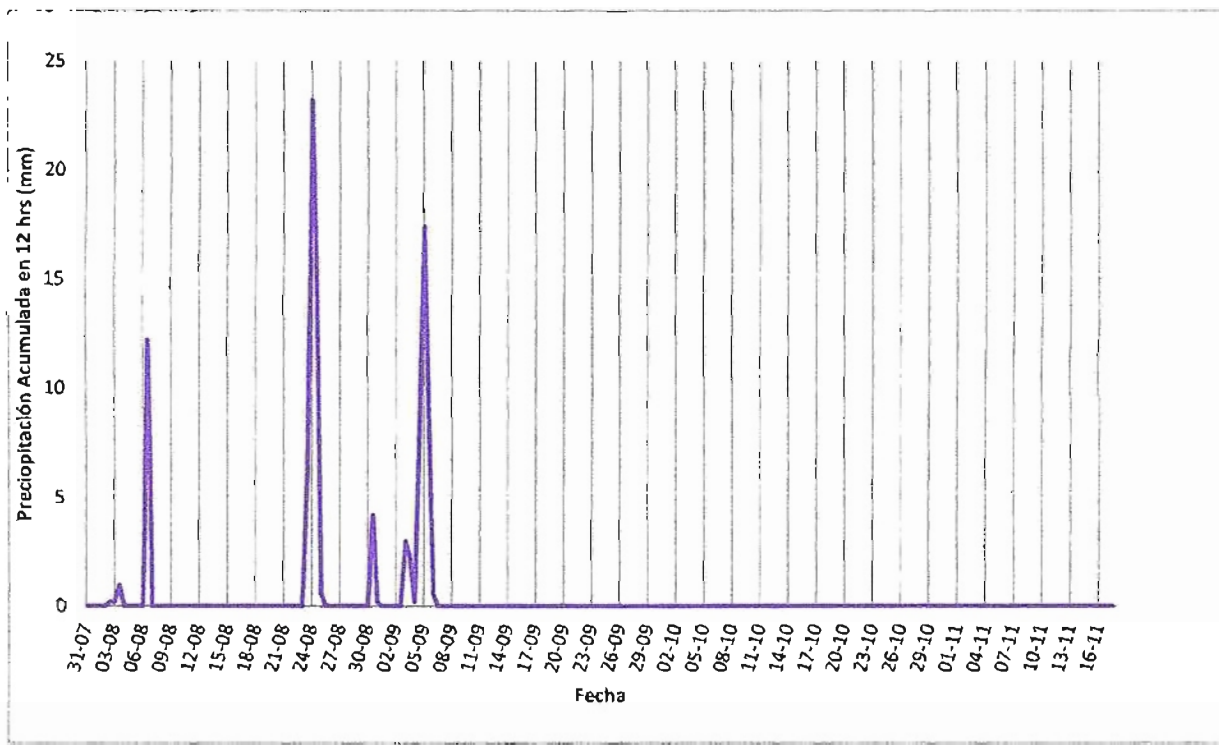
Tabla 7.1: Ubicación Relativa a la Zona en Estudio de las Estaciones Pluviométricas.

Estación	Desnivel (m)	Distancia (km)	Dirección
Río Cachapoal en Puente Arqueado	-40	28	NE
San Fernando	230	67	SE
Laguna de Torca	-150	56	SO

De estas estaciones, tanto San Fernando, como Laguna de Torca no se consideran representativas. Esto se debe tanto a la distancia y el desnivel respecto a Marchigüe, como a la presencia de cordones montañosos que pueden aislar los frentes de precipitaciones. Por lo tanto sólo se utiliza la estación Río Cachapoal en Puente Arqueado.

El Servicio de estaciones DGA en Tiempo Real entrega precipitaciones cada 1 hora, esta información fue agregada para obtener precipitación acumulada en 12 horas, con el fin de presentar de una forma más legible la información. El registro utilizado es desde el día 31 de julio del 2014 a las 0:00 hasta el día 16 de octubre del 2014 a las 23:00. Durante este período se registraron 4 eventos de precipitación: 3 de agosto, 6 de agosto, 23 y 24 de agosto y finalmente 30 de agosto hasta el 6 de septiembre, siendo estos dos últimos los de mayor envergadura (ver Figura 7.7).

Figura 7.7: Precipitaciones en Estación Río Cachapoal en Puente Arqueado 31/07/2014 – 17/11/2014.



Se debe destacar que los registros de esta estación no son necesariamente 100% representativos de la zona en estudio. Esto se debe a que los frentes pueden provenir desde lugares distintos, por lo cual no precipita igual en toda el sector.

7.3 Mediciones de Nivel Freático en Red de Monitoreo

La red de monitoreo de niveles del acuífero está compuesta por 5 pozos existentes en el área de estudio, más pozos habilitados para el registro continuo de variaciones de nivel mediante instalación de instrumentos de medición de presión hidrostática.

En la Tabla 7.2 se presenta la red de monitoreo tanto para la red existente (PME) como los pozos habilitados para los fines del proyecto (PM), además en la tabla se puede apreciar el primer registro y el último registro de la red de monitoreo existente, lo que muestra en promedio un aumento de 0,9 (m) los niveles del acuífero, debido al proyecto de infiltración.

Tabla 7.2: Red de Monitoreo (Registro 25/06/2014 y 27/10/2014 de niveles)

ID Pozo	Coordenadas UTM WGS 84		Elevación Terreno	Profundidad Freática *	Niveles Freáticos *	Profundidad Freática **	Niveles Freáticos **
	Este (m)	Norte (m)	(m.s.n.m.)	(m)	(m.s.n.m.)	(m)	(m.s.n.m.)
PME1	256525	6192776	157,6	5,7	151,9	5,0	152,6
PME2	256243	6192541	157,2	5,2	152,1	4,6	152,6
PME3	256416	6192865	158,1	6,1	152,0	5,4	152,7
PME4	256525	6192776	157,6	5,5	152,1	5,0	152,6
PME5	256378	6192825	158,1	6,7	151,4	4,7	153,4
PM1	256350	6192158	156,3	-	-	3,2	153,1
PM2	256572	6192463	156,3	-	-	3,8	152,5
PM3	256412	6192369	156,4	-	-	1,6	154,9
PM4	256390	6192486	156,7	-	-	3,7	153,0
PM5	256791	6192398	156,1	-	-	3,9	152,2

* Registro tomado el 25/06/2014

** Registro tomado el 27/10/2014

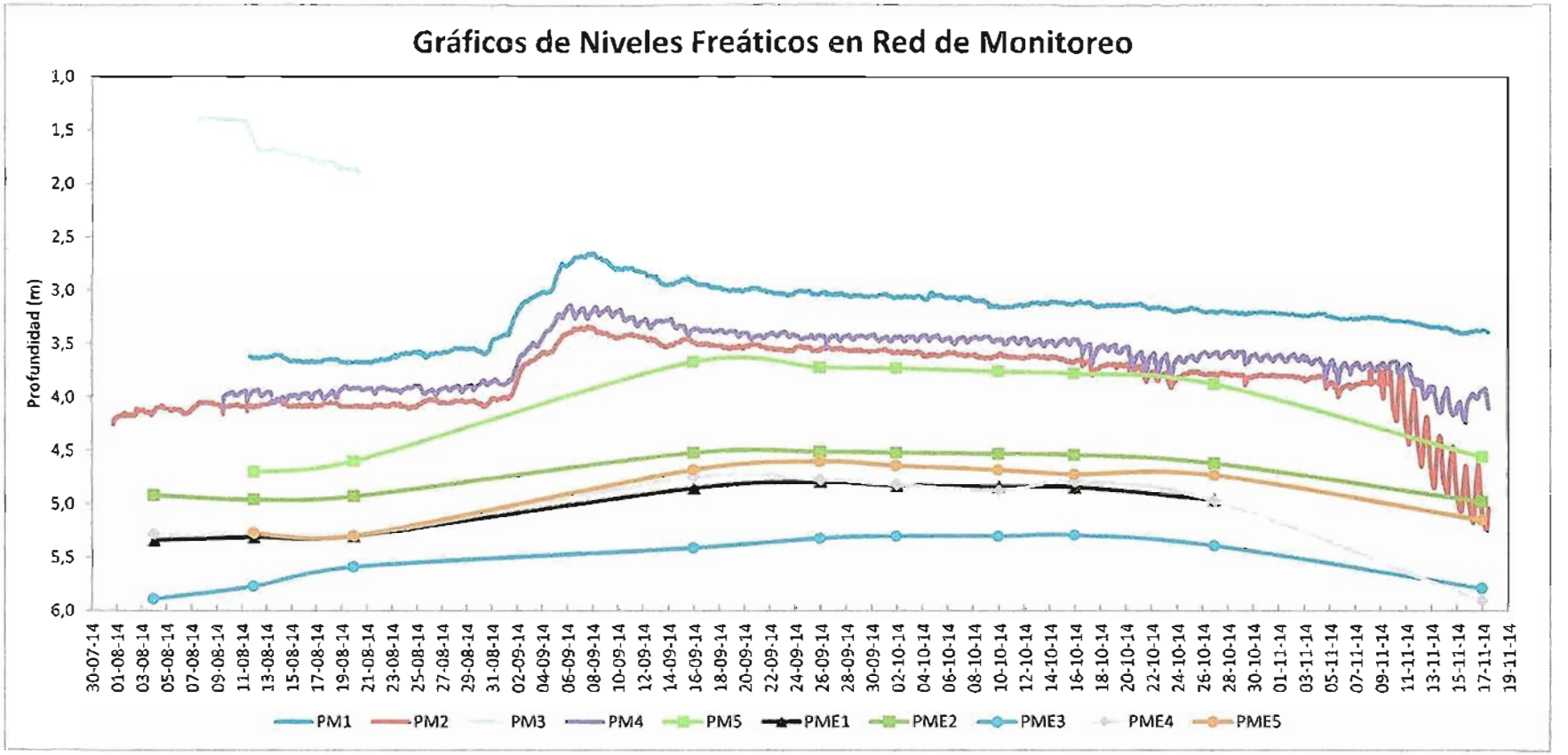
En la Tabla 7.3 se el registro de niveles obtenida en las mediciones puntuales de la red de monitoreo, y la fluctuación que presenta el acuífero en el periodo comprendido de medición.

Tabla 7.3: Registros Puntuales de Red de Monitoreo

FECHA	PME1	PME2	PME3	PME4	PME5	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
	Pozo Caroca	Pozo mitad viña Caroca	Pozo Esquina Caroca	Noria Caroca	Noria Moreno	25m del Estero	50m del Estero	100m del Estero	180m del Estero	100m Estero aguas abajo
Sobre el Suelo						0.38	0.19	0.17	0.3	0.2
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
25-06-2014	5.68	5.15	6.13	5.48	6.70					
31-07-2014							4.26			
04-08-2014	5.34	4.92	5.89	5.28			4.10	1.72		
12-08-2014	5.31	4.96	5.77	5.27	5.27	3.64	4.09	1.69	4.06	4.70
20-08-2014	5.30	4.93	5.59	5.30	5.30	3.68	4.09	1.90	4.07	4.60
16-09-2014	4.85	4.52	5.41	4.75	4.68	2.95	3.50	1.12	3.38	3.67
26-09-2014	4.79	4.51	5.32	4.77	4.60	3.02	3.53	1.14	3.47	3.72
02-10-2014	4.83	4.52	5.30	4.82	4.64	3.05	3.56	1.21	3.49	3.73
10-10-2014	4.84	4.53	5.30	4.87	4.68	3.07	3.58	1.32	3.51	3.76
16-10-2014	4.84	4.54	5.29	4.79	4.72	3.11	3.65	1.43	3.56	3.78
27-10-2014	4.96	4.62	5.39	4.97	4.73	3.18	3.76	1.55	3.66	3.88
17-11-2014	11.91	4.98	5.79	5.91	5.15	3.37	4.23	1.86	4.12	4.56

El registro de profundidades freáticas es presentado en la Figura 7.8, cabe señalar que el instrumento instalado en el pozo PM3 presentó una falla por lo cual no pudo recuperar la información de niveles. La diferencia entre planos entre el pozo PM2 con resto de los pozos se puede deber a la presencia de una unidad acuífero confinada presente en el área de estudio que no se comunica de manera directa con el acuífero general que se puede observar en el área estudiada. Por otra parte los datos registrados en la última medición corresponden a un estado de plena explotación del acuífero por riego de las viñas en el área de estudio, representando de niveles dinámicos.

Figura 7.8: Profundidades Freáticas Registradas por Instrumental en Pozos



8 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el siguiente apartado se expondrán los principales resultados obtenido del análisis de las variables monitoreadas en el proyecto de infiltración Estero Las Cadenas.

8.1 Variación Niveles de Caudal/Precipitaciones

A partir del nivel del registro de los transductores de presiones, se pueden observar la influencia de las precipitaciones en el nivel de las aguas de los cauces. En la Tabla 8.1 se presenta el período de registro para cada uno se los sensores instalados.

Tabla 8.1: Período de Registro de los Sensores.

Ubicación	Código	Inicio registro	Fin registro
Muro	ST 1	31-07-2014 14:59	16-09-2014 12:55
Las Rosas	ST 2	01-08-2014 14:19	01-11-2014 05:25
Yerbas Buenas	ST 3	04-08-2014 18:29	17-11-2014 13:05

Acerca los sensores se debe destacar:

- El sensor ST1 y ST3 tienen una mayor resolución y un límite máximo de medición, debido a esto, no registran alturas mayores a 1 (m). Por otra parte el sensor ST2 es menos sensible pero si registra niveles de agua mayores a 1 (m). Este se debió a que en las especificaciones técnicas del instrumento señala que si bien su rango es de un metro este podía seguir midiendo hasta los dos metros antes de que el instrumento sufriera daños, lo que no se cumplió en la realidad.

- El sensor ST3 presenta una oscilación constante, posiblemente ocasionada por la presencia de una resonancia.

- Los sensores ST2 y ST3 no se ven influenciados por embalsamiento debido al muro, por lo que el nivel que registran se debe netamente al régimen de los esteros.

Utilizando los datos de precipitación de la sección 5.2, y el registro de niveles de agua, se elabora la Figura 8.1, de la cual se desprende:

- 6 de agosto (12,2 (mm) en 12 horas): ST2 y ST3 registran la precipitación con 12 horas de desfase. ST3 no es tan notorio dada la oscilación constante.

- 23-24 de agosto (41 (mm) en 36 horas): ST2 y ST3 registran un leve aumento (menor que el del 6 de agosto). Probablemente la precipitación registrada en la estación pluviométrica no se replicó en zona de estudio a tal magnitud.

- 30 de agosto (4,7 (mm) en 12 horas): ST2 y ST3 registran la precipitación con 12 horas de desfase. ST3 presenta un mayor aumento, lo cual se debe al tamaño de la cuenca aportante.

- 1 de septiembre (1,3 (mm) en 12 horas): ST2 y ST3 tendían a disminuir la altura pero tras el evento de precipitación, el cual probablemente fue mayor en magnitud en la zona comparado con lo registrada por la estación, alcanzan un peak, ST2 lo registra de buena forma, pero ST3 no puede dado el sensor.

- 3 de septiembre (5,8 (mm) en 24 horas): ST2 tendía a disminuir la altura, cuando se presentó un nuevo evento de precipitación, registrando un nuevo peak 12 horas después. Probablemente ST3 repitió el comportamiento de ST2, pero se registra dado el sensor.

- 4-5 septiembre (30 (mm) en 36 horas): Ocurre lo mismo que el 3 de septiembre. Tras esto decrece la altura, rápidamente en ST2 y de forma más lenta en ST3 (al tener una cuenca aportante más grande, existe un retardo mayor en que la precipitación se transforme en caudal, es decir existe un mayor almacenamiento superficial).

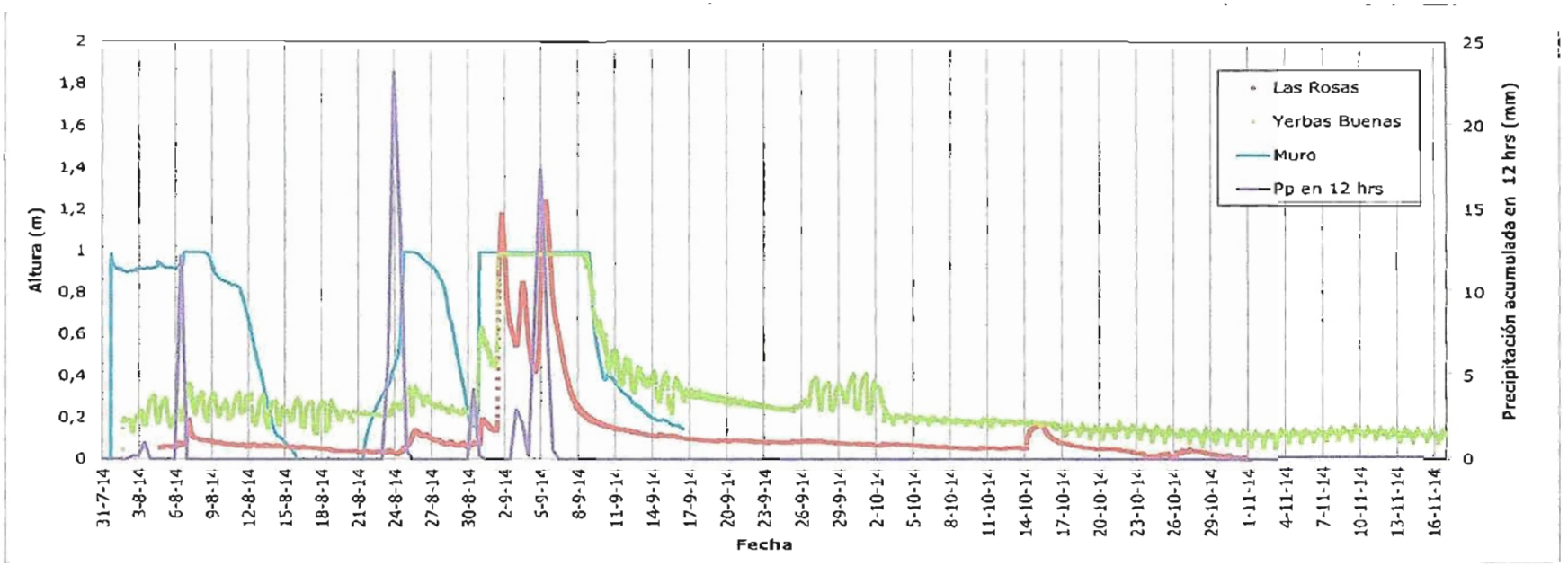
- 9 de septiembre en adelante: El descenso en ST3 y ST1 es casi simultáneo y existe un pequeño desfase dado que ST3 se encuentra aguas arriba. Esto se debe a que ST3 tenía la misma altura de agua que ST1. Luego varían su altura dada las oscilaciones del sensor en ST3. El sensor ST2 sigue descendiendo de la misma forma.

- El 14 de octubre se inició el riego por surco en el sector del Estero las Rosas, lo que se ve reflejado en el aumento de 10 (cm) en los niveles registrados por el sensor instalado en dicho estero. Esto se repite el 26 de octubre provocando un aumento en los niveles de 5 (cm).

- El 1 de noviembre es el último momento en el cual el estero traía agua, después de este día los valores registrados no son válidos.

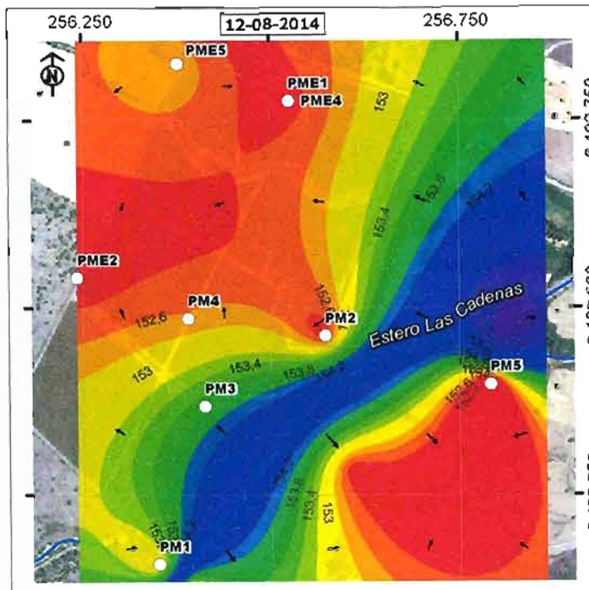
En general existe un desfase de 12 horas para que la precipitación se vea reflejada en una crecida en los esteros. El sensor ST1 depende 100% de la estabilidad del muro, ya que al fallar la altura registrada es la misma que existe en ST3.

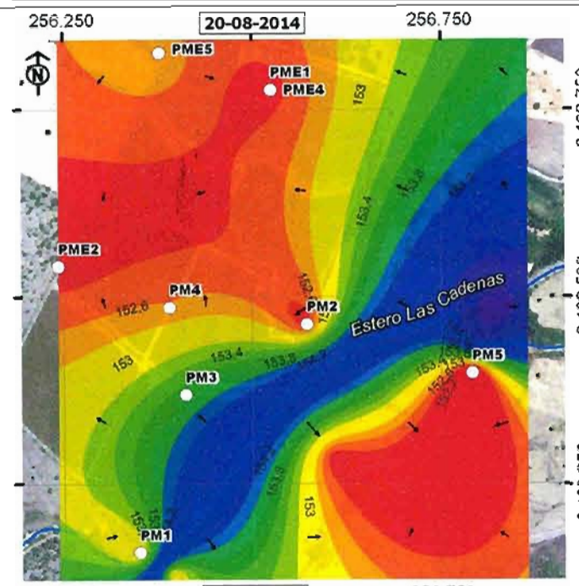
Figura 8.1: Registro de Nivel de Agua en los Cauces y Precipitaciones.

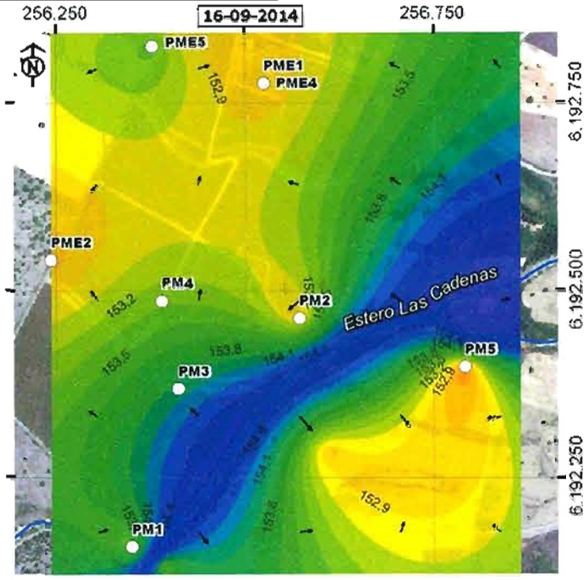


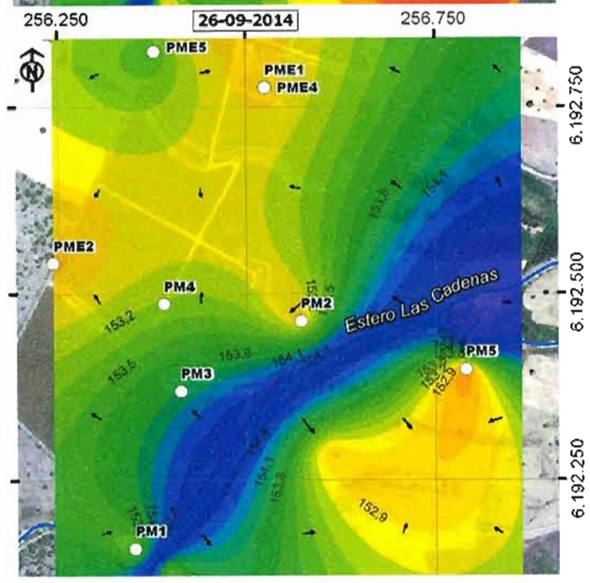
8.2 Variación Niveles Freáticos

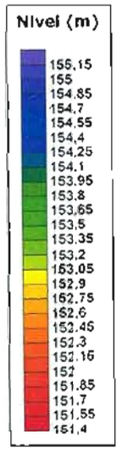
En la Lámina 8.1 se puede observar la variación de niveles en el acuífero en el área de estudio, en siete periodos de medición (12-08-2014, 20-08-2014, 26-09-2014 , 02-10-2014, 10-10-2014, 16-10-2014) se aprecia que existe un pequeño aumento en la primera semana de medición en torno al 0,1 (m) de incremento a la condición del 12-08-2014, pero si se contrasta con el último periodo de registro, 45 días después, se nota claramente un aumento en los niveles, en aproximadamente 0,6 (m). Además, se puede notar el avance del aumento de los niveles desde los pozos que están más próximos al Estero a los que están más lejanos ubicados a 500 (m) del Estero. En el último periodo de tiempo se logra apreciar un aparente retroceso en el avance de los niveles del acuífero, esto se puede deber a que el acuífero está logrando una estabilización más horizontal, lo que se puede notar en los pozos que están más alejados del estero aumentan sus niveles mientras los que están cercano al estero no producen incremento, y más, bien existe una disminución en los niveles registrados.

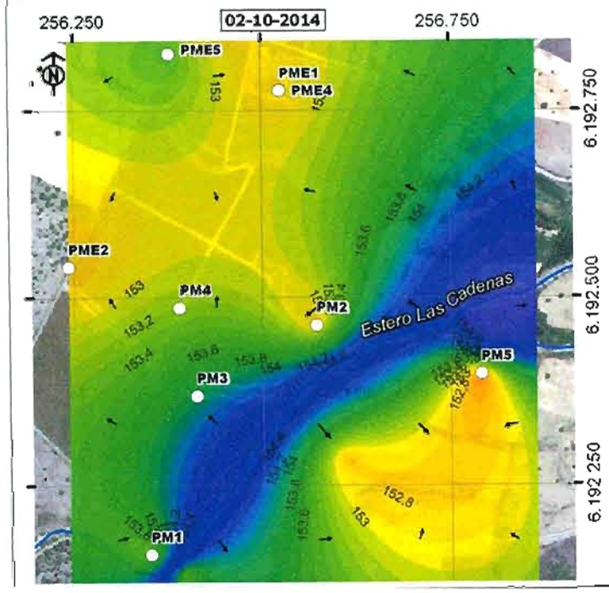


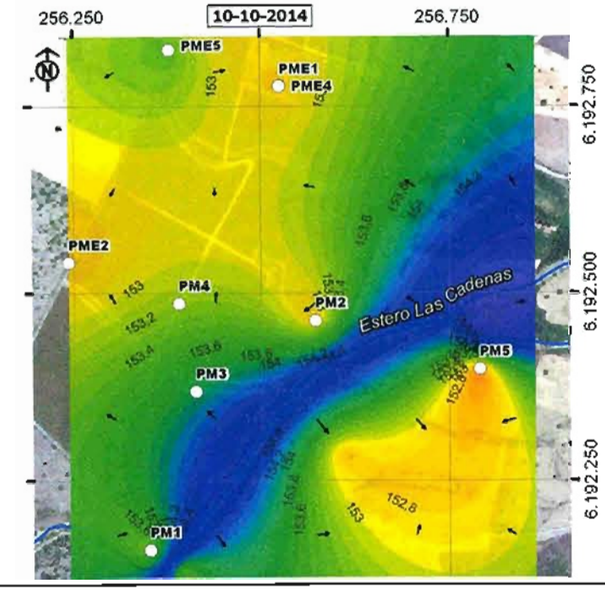


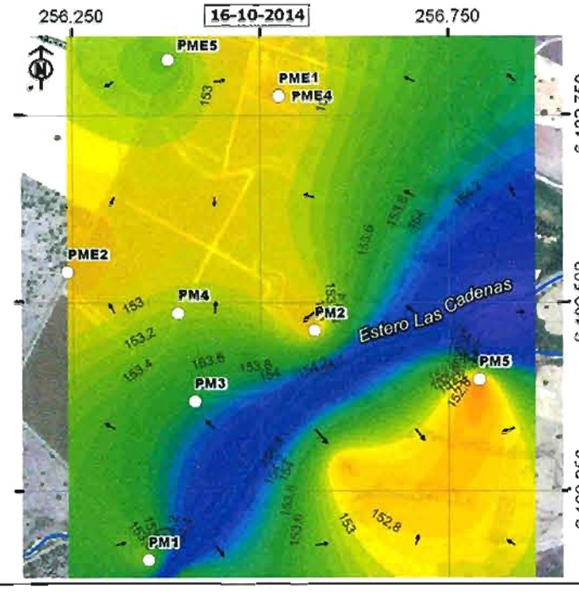












SIMBOLOGÍA BASE

Asentamientos

Capital
- Regional
- Provincial
- Comunal

Poblado

Área urbana

Límite Político administrativo
- Internacional
- Regional
- Comunal

Hidrografía

Drenaje
- Estero
- Qbda. Intermitente
- Canal

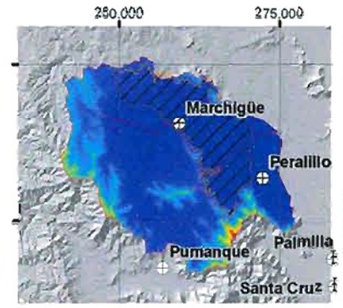
Cuerpo de agua
- Embalse
- Laguna
- Tranque

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Límite preliminar de Unidad Hidrológica
- Acuífero Eo. Las Cadenas-Marchigüe

Elemento contextual
- Instrumento monitoreo
- Dirección del flujo

VISTA GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS



Modelo de Elevación digital (Base SRTM 75m) y Sombreado de Relieve (azimuth=0)

CNR

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CONSULTORES:
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

TEMA: Evolución de Equipotenciales superficie del Nivel Freático.

URL: C:\\SIG\MXD\Lámina8.1_Evolución de Equipotenciales superficie del Nivel Freático.mxd

INFORMACIÓN GEODÉSICA
- Elipsoide y Datum de Referencia WGS-84

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
- Sistema de Coordenadas U.T.M., Huso 19 sur.
- Proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator)
- Datos Altimétricos referidos al n.m.m.

FUENTE DE INFORMACIÓN
- Imagen QuickBird (02/2013)
- Cartografía Regular IGM 1:50.000. Cartas F1-F2-F3-F11-F12-F13-F21-F22 y F23
- Cartografía MOP (2013)

LÁMINA / VERS.	DIBUJO	REVISIÓN	FECHA
8.1 / 0	D.S.Z.	M.M.	DIC. 2014

0 50 100 200 300 m

ESCALA 1:8.500

En la Figura 8.2 se presentan los registros de los niveles de los pozos y del sensor ubicado en el muro.

A simple vista se observa que el PM3, ubicado a 100 (m) del estero se comporta distinto a los otros pozos, más bien tiene un comportamiento similar a lo que sucede en el estero, a medida que disminuye la carga en el estero, también lo hace este pozo. Esto quiere decir que existe un flujo preferente entre ambas unidades, el cual probablemente sea de arenas o incluso grava.

Otra singularidad es que los niveles registrados en PM4 (a 200 (m) del estero) son mayores a los registrados en PM2 (a 50 (m) del estero) a pesar de que está ubicado a una mayor distancia. Esto denota que el acuífero no es horizontal sino que se tiene un plano inclinado, el cual permite que existan niveles más altos a pesar de estar más lejos del estero.

Los otros 3 pozos: PM1(a 25 (m) del estero), PM2 y PM4, presentan un comportamiento similar. El nivel de los 3 aumenta a una pendiente constante desde el inicio del registro hasta el 30 de agosto, período el cual se atribuye a la saturación del suelo.

Entre el 31 de agosto y el 6 de septiembre se observa una gran pendiente en los niveles de los tres pozos hasta llegar a una estabilización. Esa pendiente corresponde al aumento de los niveles debidos a la carga del río y el suelo saturado. Se debe recordar que el suelo al estar saturado, el agua se mueve a mayor velocidad. La estabilización mencionada corresponde al tope de recarga del acuífero a una carga constante dentro del estero. Para poder aumentar la recarga se debe aumentar la carga en el lecho. Tras la estabilización, se observa la disminución de la carga en el estero, producto de la falla del muro, la cual se ve reflejada en el comportamiento de los pozos, los cuales disminuyen su nivel. Esta disminución de nivel equivale a una estabilización del nivel total en el acuífero, por lo que se observa un comportamiento logarítmico y se prevé que se mantenga así.

Es importante destacar que el momento de la saturación es relativo a la distancia entre los esteros y los pozos. Es decir mientras más lejos esté el pozo del estero, más tarde es el momento en el cual se registra el cambio de pendiente asociado a la saturación del suelo. Mientras que para PM1 se observa el 30 de agosto, para PM2 ocurre el 1 de septiembre y para PM3 el 2 de septiembre.

En la Figura 8.3 se presenta el cono de infiltración producido debido a la recarga del acuífero, es decir la altura de agua registrada tanto en los pozos como en el estero, para distintos períodos de tiempo. La zona achurada representa el aumento de niveles freáticos dentro del acuífero en las nueve semanas de medición. En la semana 9 se observa como en el acuífero se genera un cono, es decir aumenta considerablemente el nivel en los pozos, superando los 50 (cm) en todos estos con respecto a la semana 0. Es necesario destacar que a pesar de que la carga en el estero disminuye en más de 50 (cm) entre la semana 0 y la 9, el nivel en los pozos es mayor, lo cual indica que la recarga es efectiva y que el volumen de agua en el acuífero aumentó.

En la Figura 8.4 se presenta un cono de infiltración esperado, cuyo comportamiento es similar al presentado en la Figura 8.3, lo cual confirma la validez del estudio.

Figura 8.2: Registro de Niveles Continuos en el Tiempo.

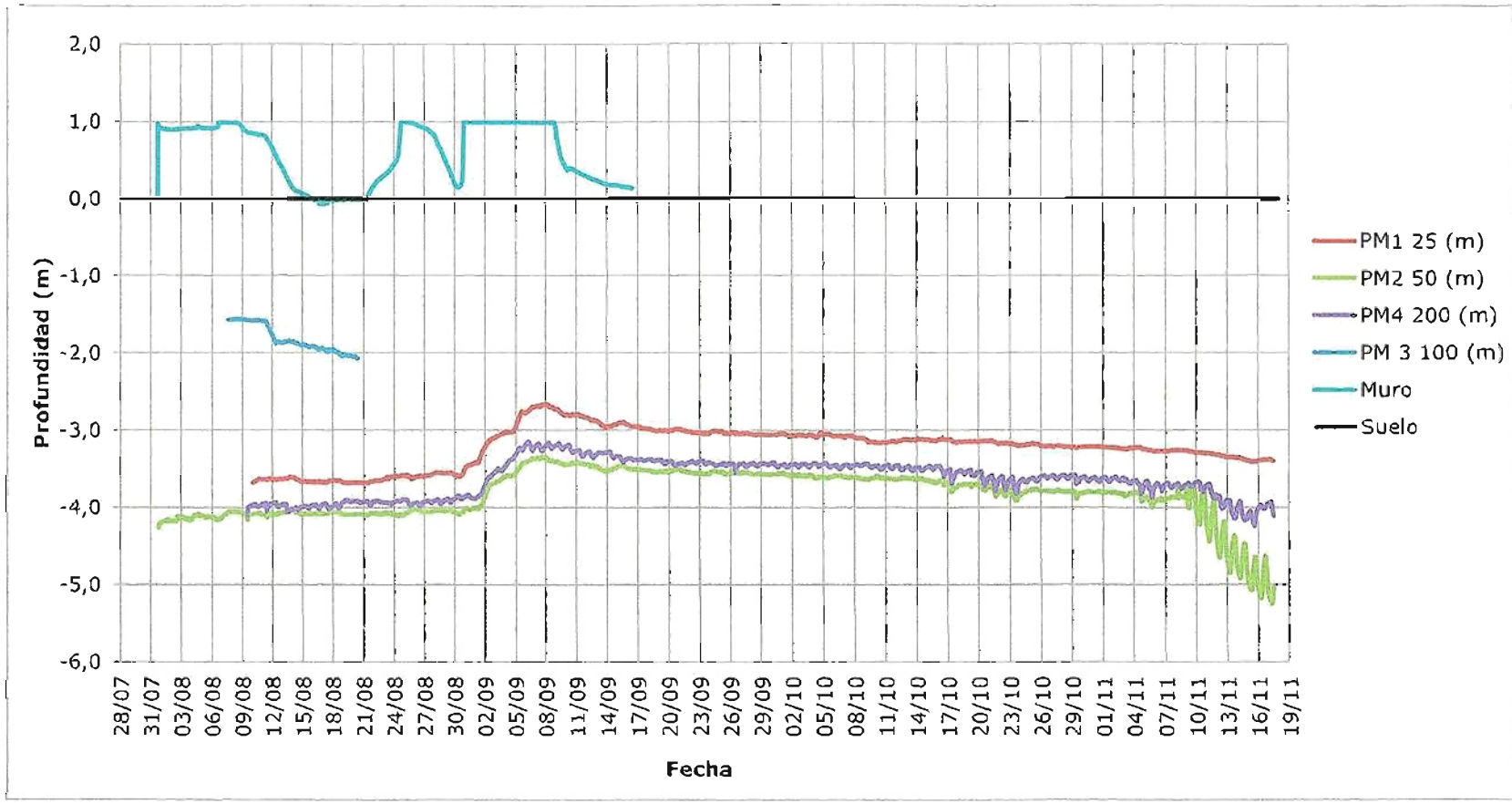


Figura 8.3: Cono de Infiltración Producido.

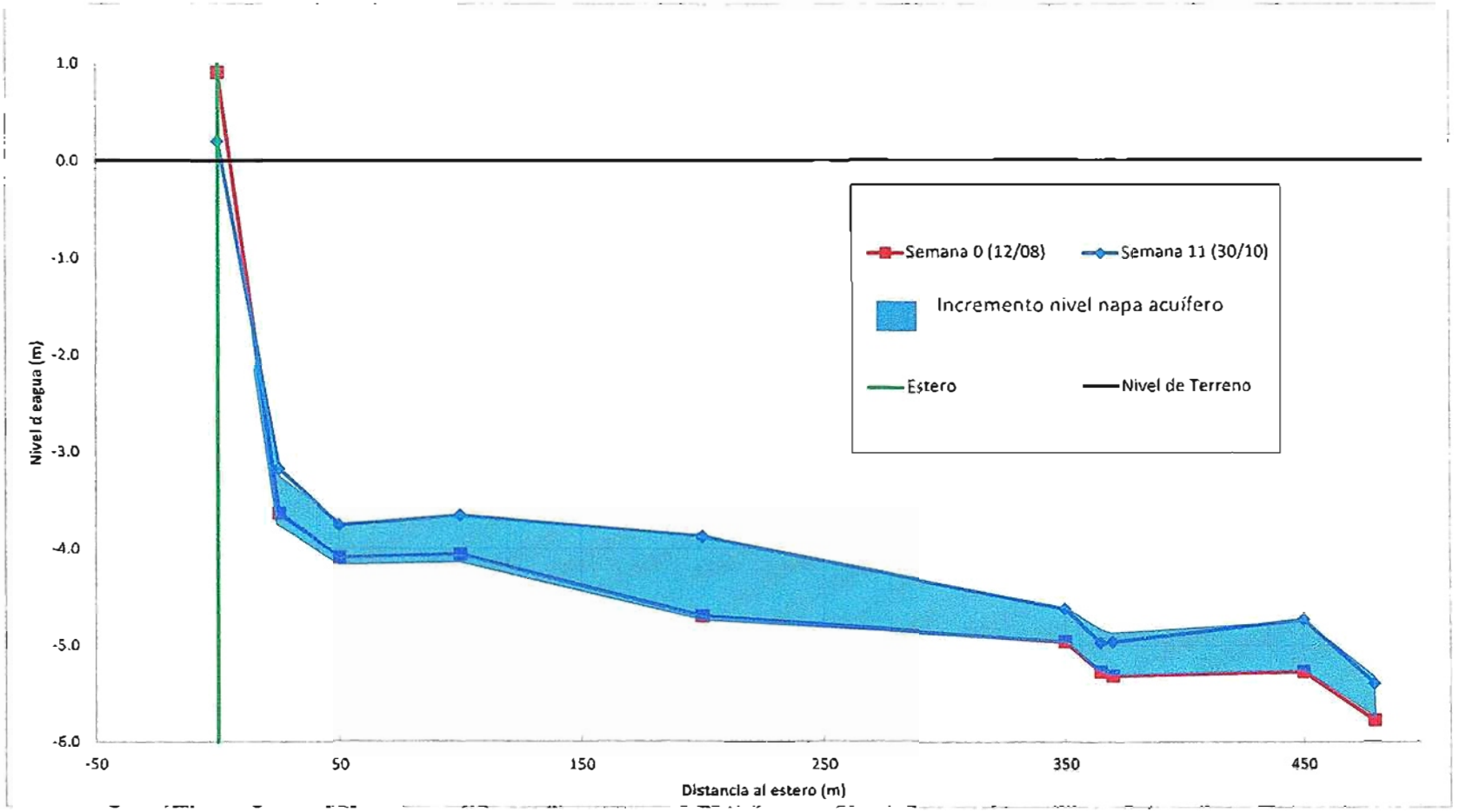
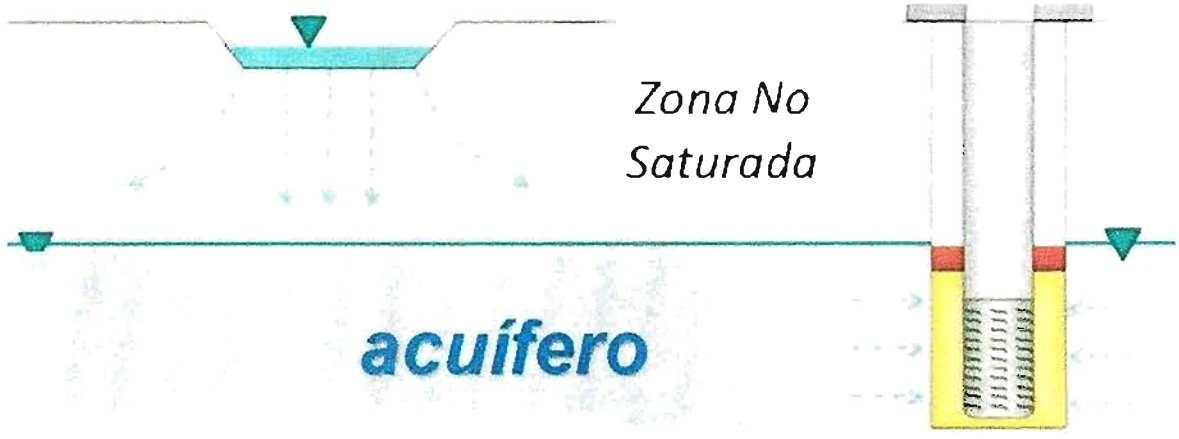


Figura 8.4: Cono de Infiltración Esperado.



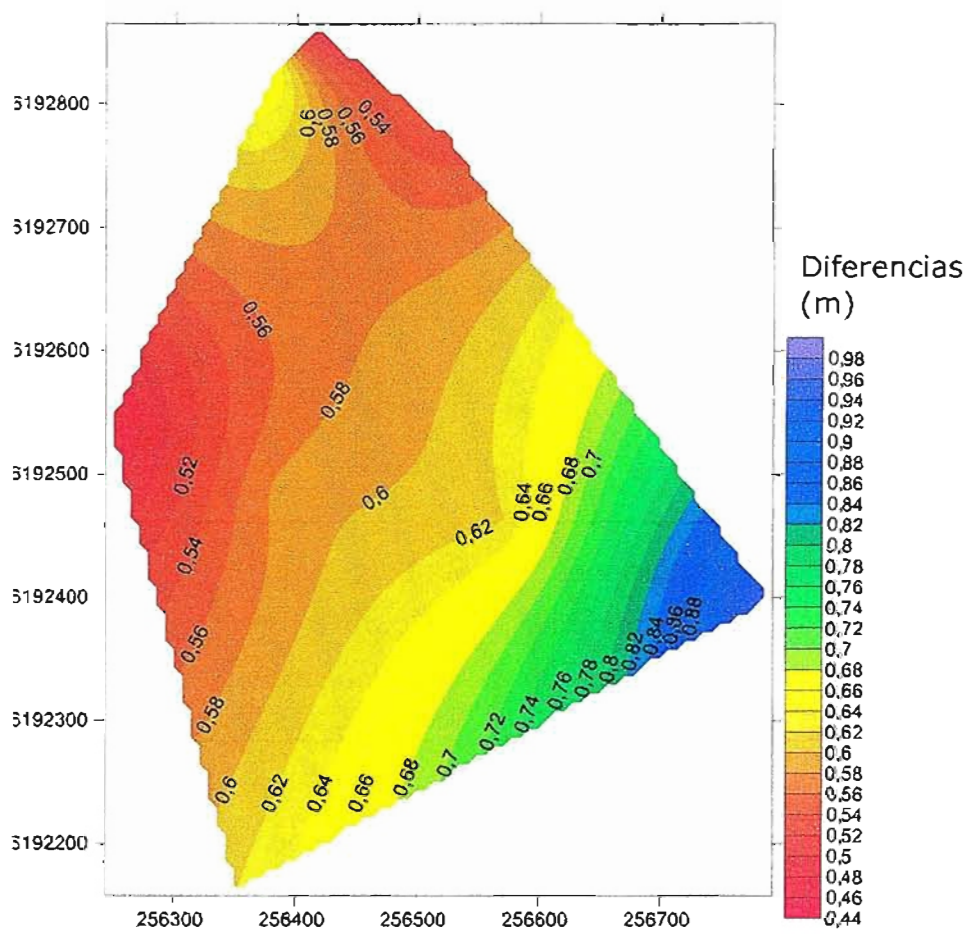
8.3 Volumen de Recarga

En base a la información recopilada se define un polígono que está inserta entre los pozos de monitoreo. Este polígono define un área aproximada de 21 (ha), y restando los niveles obtenidos entre el 12-08-2014 y 26-09-2014, lo que en total suman 45 días de mediciones, se obtiene un aumento de niveles entre este periodo de 0,6 (m) en promedio (ver Figura 8.5). Este resultado es netamente referencial puesto que tuviera un área de monitoreo mayor a la actual se podría apreciar el volumen real de recarga. Lo que muestra esta figura en términos prácticos, es que la experiencia del piloto de recarga es exitosa y que en el intervalo de un mes y medio se pudo almacenar la cantidad de volumen antes mencionada.

El volumen en el cual se almacena el agua infiltrada equivale a 133.000 (m^3). Este volumen está siendo ocupado tanto por agua como por suelo, por lo tanto para determinar el volumen agua infiltrada, se debe multiplicar los 133. 000 (m^3) por la porosidad del medio. A partir del Anexo I, se considera un valor de porosidad n=0.35, equivalente a arenas finas para la zona en estudio. De esta forma el volumen de agua infiltrado dentro del polígono monitoreado equivale a 46.550 (m^3).

Al extrapolar este volumen a toda el área que se mantiene el espejo de agua generado por el apresamiento del dique (1,5 (km) aguas arriba aproximadamente), se generan un estimado de 185.500 (m^3)

Figura 8.5 : Aumento Niveles en Polígono Monitoreado



8.4 Transmisividad y Conductividad Hidráulica

A partir de los datos registrados es terreno es posible determinar las propiedades hidráulicas del acuífero, tales como la transmisividad (T) y la conductividad hidráulica (K).

8.4.1 Transmisividad

La transmisividad hidráulica de un acuífero es el producto del espesor saturado de dicho acuífero y la conductividad hidráulica:

$$T = K \cdot b$$

Donde:
T es la transmisividad en (m^2/s).

K es la conductividad hidráulica en (m/s).

b es el espesor saturado del acuífero (m).

También puede ser determinada por:

$$T = \frac{Q}{L}$$

Donde:
Q es el caudal agregado al acuífero (m^3/s).

L es la longitud perpendicular al sentido del flujo y al espesor saturado del acuífero (m).

De esta forma, a partir de lo presentado en la sección se obtiene una transmisividad T=3,08E-05 (m^2/s) (ver Tabla 8.2).

Tabla 8.2: Transmisividad Hidráulica.

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen	46.550	m^3
Tiempo	3.024.000	s
Caudal	15	l/s
Longitud	500	m
Transmisividad	3,08E-05	m^2/s

Se estima un caudal infiltrado de 15 (l/s) para el área del polígono circunscrito en la red de monitoreo habilitada (aproximadamente 500 (m) x 500 (m)), en un periodo de tiempo de 5 semanas, lo que corresponde a la semana siguiente de alcanzar el máximo nivel freático registrado en la red de monitoreo.

8.4.2 Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica (K) es una medida de la facilidad con la que el medio deja pasar el agua. Se deriva a partir de la ley de Darcy:

$$q = -K \cdot \frac{dh}{ds}$$

Donde:
q es el caudal por unidad de área (m/s).
K es la conductividad hidráulica (m/s).
dh es la diferencia de cota de agua entre piezómetros (m).
ds es la distancia entre piezómetros (m).

En este caso, el caudal por unidad de área es estimado como:

$$q = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Donde:
Δt es la diferencia entre los tiempos de medición (s).
Δh es la diferencia de altura para un piezómetro en el tiempo Δt.

De esta forma se determina un valor de conductividad para cada par de piezómetros (puntos de medición) y para cada par de mediciones. En particular se calcularon conductividades para 9 días de medición (12-08, 20-08, 16-09, 29-09, 02-10, 10-10, 16-10, 27-10 y 17-11), es decir 8 valores de K para cada par de pozos, luego se promedia los valores de cada par, para obtener la conductividad hidráulica representativa del acuífero para cada par de datos de

medición (ver Tabla 8.3). Finalmente al promediar estos valores para obtener un valor representativo de la conductividad del acuífero, se tiene que K=5,3E-03 (cm/s), lo cual se condice con lo concluido a partir del análisis granulométrico presentado en la sección 6.2.

Se destaca que para calcular estos valores se excluye PM3 dada el flujo preferente existente entre el estero y el pozo.

Tabla 8.3: Conductividad Hidráulica.

Dato	Inicio registro	Fin registro	K (cm/s)
1	12-08-2014	20-08-2014	7.7E-03
2	20-08-2014	16-09-2014	4.9E-03
3	16-09-2014	29-09-2014	3.5E-03
4	29-09-2014	02-10-2014	8.0E-03
5	02-10-2014	10-10-2014	1.3E-03
6	10-10-2014	16-10-2014	6.5E-03
7	16-10-2014	27-10-2014	2.2E-03
8	27-10-2014	17-11-2014	6.3E-03
Promedio			5.1E-03

Se debe recordar que la ley de Darcy es válida para un medio continuo, homogéneo, isótropo y sólo es válida para el agua en régimen laminar, por lo que los resultados no son exactos, pero si válidos.

8.5 Caudal Infiltrado

A partir del caudal infiltrado registrado para el polígono monitoreado (en verde en la Figura 8.6) y el estudio geofísico descrito en la Sección 2.5 (perfiles representados por líneas rojas en la Figura 8.6), se calcula el caudal total infiltrado en la zona en estudio. Para esto se toma como supuesto que la relación entre el caudal infiltrado monitoreado y todo el caudal infiltrado es directamente proporcional a la relación entre el área monitoreada y el área total de infiltración:

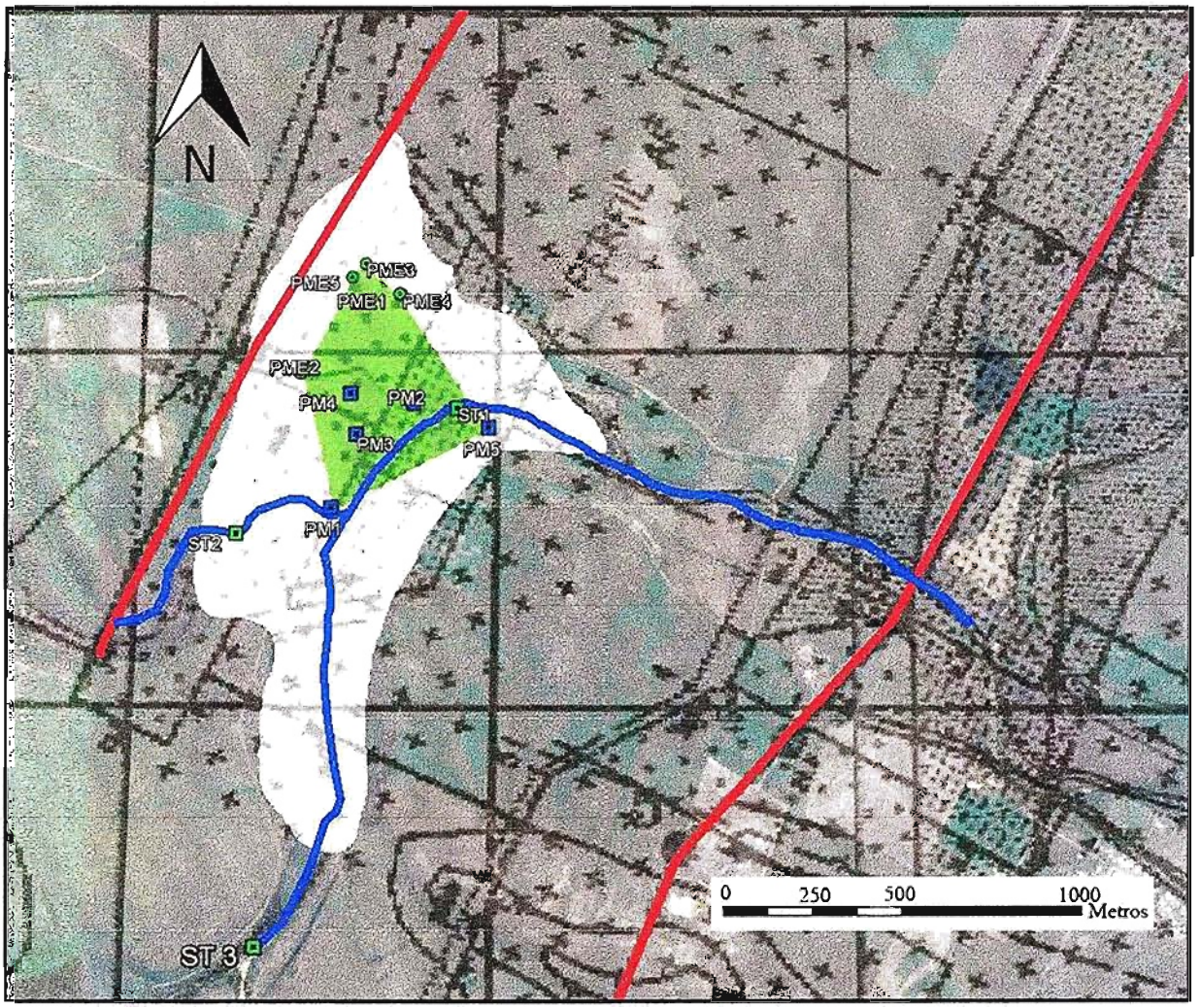
$$\frac{Q_{monitoreado\ infiltrado}}{Q_{total\ infiltrado}} \sim \frac{A_{monitoreada\ infiltrada}}{A_{total\ de\ infiltración}}$$

Se elabora entonces la Tabla 8.4 obteniendo un caudal total infiltrado de 80 (l/s).

Tabla 8.4: Caudal Total Infiltrado.

Sector	Área (m^2)	Caudal (l/s)
Monitoreado	177.417	15
No monitoreado	742.819	65
Total	**920.236**	**80**

Figura 8.6: Zona Potencial de Recarga



9 INFORME DESMANTELAMIENTO MURO CADENAS

9.1 Desmantelamiento Muro Cadenas

El día 25 de Noviembre del 2014, se llevaron a cabo las obras de desmantelamiento del muro Cadenas, proceso que se realizó con la ayuda de maquinaria pesada (retroexcavadora).

En primera instancia, debido al exceso de basura acumulada, se procedió a despejar y limpiar la zona, con la finalidad de trabajar de manera segura y eficiente.

Figura 9.1: Estado previo al desmantelamiento.

Una vez despejada la zona, se comenzó a desmembrar el muro en su parte central, con la ayuda de la retroexcavadora.

Figura 9.2: Retroexcavadora trabajando en el desmantelamiento (Vista 1).

Figura 9.3: Retroexcavadora trabajando en el desmantelamiento (Vista 2).

El siguiente paso fue desarmar los gaviones superficiales, para lo cual se fueron cortando las mallas de manera manual, para de esta forma permitir que la maquinaría pudiese voltear los bolones, material que sería utilizado,

posteriormente, en el relleno de las riberas y en emparejamiento del lecho del Estero.

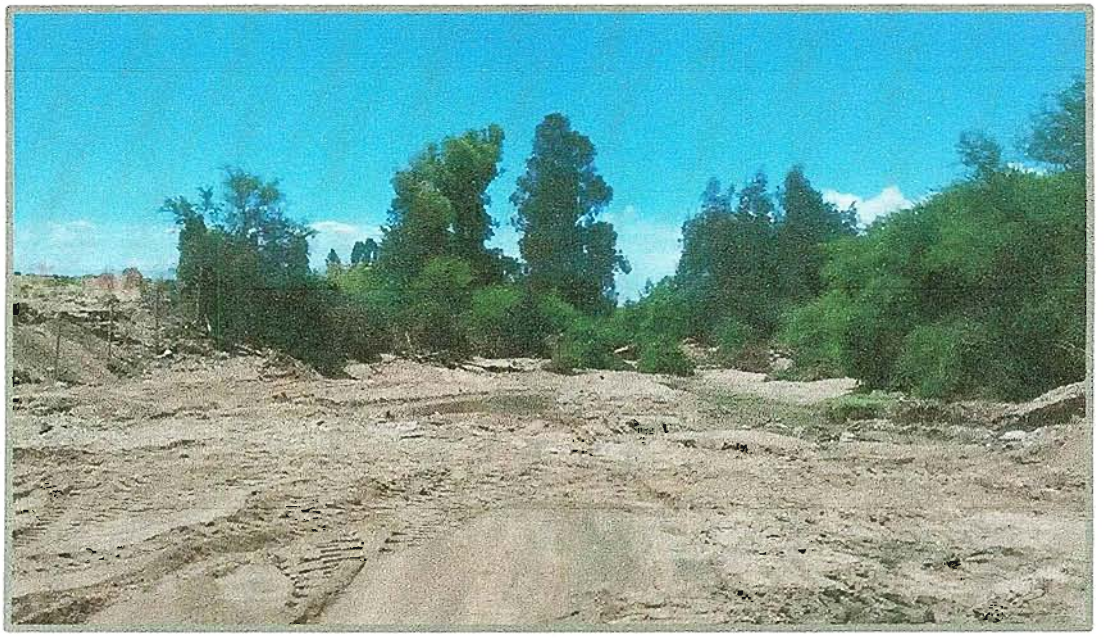
Figura 9.4: Retroexcavadora trabajando en el desmantelamiento (Vista3).

Los restos de geomembrana, geotextil y alambres sobrantes fueron retirados y trasladados a un punto de acopio, para que posteriormente fueran retirados por un camión dispuesto para este fin.

Figura 9.5: Ribera norte del estero tras desmantelamiento.

Figura 9.6: Ribera sur del estero tras desmantelamiento.

Figura 9.7: Estero tras desmantelamiento.



Se continuó trabajando en la nivelación y emparejamiento del lecho del Estero, como a su vez en el reforzamiento de las riberas, siendo estas últimas labores las que permitirían concluir de manera satisfactoria el proceso de desmantelamiento del muro.

Figura 9.8: Reparación ribera.

Figura 9.9: Estado final tras desmantelamiento.

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

- La implementación del piloto a escala real de recarga en el Estero Las Cadenas se considera un éxito y un impulso a la materialización de este tipo de iniciativas, debido al incremento de los niveles freáticos monitoreados durante la ejecución del proyecto.

- Gracias al experimento se logra obtener un volumen de recarga de 46.550 (m^3). Este volumen está asociado al polígono que circunscribe la red de monitoreo implementada, equivalente a 500 (m) x 500 (m) aproximadamente, lo que corresponde a un aumento de niveles de 0,6 (m) en promedio, para el periodo comprendido entre el 12-08-2014 y el 16-10-2014 (periodo de tiempo en que la red de monitoreo se encuentra operativa con niveles estáticos antes de la explotación de los pozos en el área de estudio).

- Si se extrapola este volumen a toda el área que se mantiene el espejo de agua generado por el apresamiento del dique, alrededor de 1,5 (km) aguas arriba, se generan un estimado de 185.500 (m^3) almacenados. Este volumen podría ser infiltrado por un total de 50 pilotos balsa de infiltración de 30 (m) x 30 (m) bajo condiciones similares de conductividad hidráulica del suelo.

- Se determina mediante la ley de Darcy un coeficiente de conductividad hidráulico (K) de 5,1E-03 (cm/s), el cual es coincidente en el orden de magnitud estimado en los ensayos de infiltración.

- Se estima un caudal infiltrado de 15 (l/s) para el área del polígono circunscrito en la red de monitoreo habilitada (aproximadamente 500 (m) x 500 (m)), en un periodo de tiempo de 5 semanas, lo que corresponde a la semana siguiente de alcanzar el máximo nivel freático registrado en la

red de monitoreo. Al extrapolar de manera ponderada este valor para toda la zona de proyecto, se obtiene un caudal total infiltrado de 80 (l/s).

- En las fichas estratigráficas de los pozos habilitados, se puede observar que los primeros metros de suelo, son altamente impermeables, lo que presenta un problema para la generación de experimentos del tipo balsa de infiltración, debido a que se debería remover la totalidad del suelo impermeable para generar la recarga. Otro inconveniente de la implementación de balsas de infiltración en este sector es que la cota de terreno se encuentra 2 (m) por sobre la cota del estero, lo que lleva a una remoción de 2.700 (m^3) de suelo con el fin de generar un desnivel de al menos 1 (m) para asegurar el funcionamiento de una balsa de 30 (m) x 30 (m).

- Existen flujos preferentes entre el estero y algunos sectores del área estudiada, esto se puede ver reflejado en el Pozo de Monitoreo habilitado PM3, que se encuentra a unos 100 (m) del estero y presenta cotas de nivel freático cercanas a la cota observada en el Estero.

- Una vez que el suelo está saturado, la infiltración en el acuífero aumenta en un orden de magnitud más rápido. El tiempo en llegar a la saturación es proporcional a la distancia al estero, lo cual se observa en el comportamiento del cono de infiltración.

- Tras el peak del 8 de septiembre, los pozos de monitoreo cercanos al estero comenzaron a disminuir su nivel freático. Esto se debe a que el nivel de las aguas dentro del acuífero tiende al equilibrio, distribuyéndose todo el volumen infiltrado dentro de la unidad subterránea.

- El caudal pasante no se puede obtener debido a que los instrumentos presentaron anomalías en sus registros, debido a que su rango de medición fue de tan solo un metro, cuando se esperaba por especificaciones técnicas del mismo que pudiera medir hasta 2 (m). Por

otro lado, realizar un balance hídrico no es la mejor opción debido a que no se puede determinar el caudal subsuperficial que escurrió bajo el muro. Sin embargo, existe una manera de determinar de forma efectiva la infiltración, mediante el registro de los niveles en los pozos y el volumen almacenado en un periodo de tiempo.

- El área del estudio, correspondiente al acuífero denominado Estero Las Cadenas-Marchigüe, se encuentra bajo la condición de área de restricción para nuevas explotaciones de aguas subterráneas. Esta declaración fue realizada por la DGA en diciembre de 2005 y abre la posibilidad legal de desarrollar proyectos de recarga artificial del acuífero mencionado.

- En función de la exhaustiva recopilación y análisis de los antecedentes hidrogeológicos, hidrológicos y de derechos de agua de toda el área de estudio Marchigüe-Las Cadenas, se obtuvo valiosa información referente a perfiles estratigráficos, parámetros elásticos del acuífero y disponibilidad de recursos hídricos. Se identificó a la zona de Demasías en el Estero Las Cadenas como la más propicia para el emplazamiento de una laguna de infiltración, información que fue corroborada con compañas de terreno donde se realizaron calicatas, ensayos de infiltración y monitoreo de niveles de pozos.

10.2 Recomendaciones

A partir de las experiencias obtenidas de la realización del Estudio Básico Análisis Alternativas Piloto Recarga Artificial Marchigüe se recomienda:

- Realizar análisis físico-químicos durante la época invernal para la fuente de agua pues al recargar el acuífero, la calidad de agua infiltrada debe ser igual o mejor a la calidad del agua almacenada en este.

- Que la construcción de proyectos de este tipo (represamiento en Esteros) se realice en épocas de verano o en épocas en que no se presenten

precipitaciones, donde se pueda trabajar en seco. Principalmente para evitar los inconvenientes que presentan las construcciones bajo el agua, además de encarecer todos los gastos de implementación.

- Para futuras ejecuciones de experiencia similares, informar a la comunidad mediante talleres informativos y/o comunicados en radios o periódicos locales, con el fin de involucrar a la ciudadanía sobre las implicaciones y beneficios del estudio para la comunidad y evitar problemas de acceso a predios o de otras índole.

- Se recomienda continuar el monitoreo de los niveles del acuífero en el sector de manera periódica con el fin de visualizar el comportamiento a largo plazo.

11 REFERENCIAS

Aguirre, L. 1960. Geología de los Andes de Chile Central (provincia de Aconcagua). Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, No. 9

Aqualogy, 2013. Estudio básico "Análisis alternativas piloto recarga artificial Ligua-Petorca, V Región". CNR

Börgel, R. 1983. Geografía de los climas. In: Geografía de Chile. Santiago, Instituto Geográfico Militar. Figura Región de O'Higgins.

Brüggen, J. 1950. Fundamentos de la geología de Chile. Instituto Geográfico Militar. Santiago.

Carter, Bentley. 1991. Correlations of Soil Properties, Carter and Bentley, Pentech Press.

Cecioni, G. 1980. Darwin's Navidad embayment, Santiago region, Chile, as a model of the southeastern Pacific shelf. Journal of Petroleum Geology 2-3: 309-321.

Charrier, R. 1981. Geologie der chilenischen Haupkordillere zwischen 34°30' südlicher Breite und ihre tektonische, magmatische und paleogeographische Entwicklung. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen (A) 36.

Charrier, R., Arcos, R., Caro, R., Malbrán, F. 1983. Hoja El Teniente, 156 p. Carta Geológica de Chile Escala 1:250.000

Charrier, R., Baeza, O., Elgueta, S., Flynn, J.J., Gans, P., Kay, S.M., Muñoz, N., Wyss, A.R., Zurita, E., 2002. Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern Central Andes, Chile (33°-36° S.L.). Journal of South American Earth Sciences, V. 15, p. 117-139

Corvalán, J.; Munizaga, F. 1972. Edades radiométricas de rocas intrusivas y metamórficas de la Hoja Valparaíso-San Antonio. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín: 28 p.

Covacevich, V.; Varela, J. y Vergara, M. 1976. Estratigrafía y sedimentación de la Formación Baños del Flaco al sur del río Tinguiririca, Cordillera de Los Andes, provincia de Curicó, Chile. 21 p.

DGA – SITAC, 1998. "Diagnóstico Potencial Hídrico Acuíferos Costeros Provincia Cardenal Caro, VI Región".

DGA SDT 160., 2003. Evaluación Recursos Subterráneos VI Región.

DGA, MOP, 2003. Informe técnico de Evaluación de Recursos Hídricos Subterráneos de la VIª región (S.D.T. Nº160), 44 p.

DGA, 2005. Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VI Región, Modelación Hidrogeológica de los Valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca; S.D.T. Nº 209.

EDRA, 1997. Fuentes de abastecimiento de agua subterránea. Proyecto Marchigüe.

Escobar, F., Guzman, R., Vieira, C. 1977. Avance geológico de las Hojas Rancagua-Curicó, Talca-Linares y Concepción-Chillán. Instituto de Investigaciones geológicas (Inédito), 20 p. Santiago, Chile.

ESSEL, 1997. "Informe Hidrogeológico y Diseño de Fuente de Agua de Varias Localidades de la Sexta Región". Localidad: Trinidad – Los Maitenes.

ESSEL, 2001. "Estudio Hidrogeológico para 19 Ciudades y Pueblos de la VI Región" Pueblos de Peralillo y Población.

ESSEL, 2002. Estudio Hidrogeológico y Prediseño de Sistema de Agua Potable Rural para Diversas Localidades de la Sexta Región. Localidad: Santa Ana.

Estudio Matus, 2006. "Clasificación agronómica de suelos del Fundo San Joaquín"

Farías, M. 2007. Tectonique, erosion et evolution du relief dans les Andes du Chili Central au course du Neogene (*Tectónica, erosión y evolución del relieve en Los Andes de Chile Central en el curso del Neógeno*) Tesis de doctorado, Université Toulouse III, p. 47 – 52; figura IV-2, p. 151.

Favero, G. y Katz, R. 1998. El uso de normas de calidad y de emisión en la gestión de los recursos hídricos. Revista Estudios Públicos Nº 69, p. 85 – 104.

Godoy, E., Yáñez, G., Vera, E. 1999. Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin and uplift of its superimposed Miocene magmatic arc, Chilean Central Andes: first seismic and gravity evidence. Tectonophysics, 306: 217-326.

Godoy, E., Schilling, M., Solari, M., Fock, A. 2009. Geología del área Rancagua - San Vicente de Tagua Tagua, región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Escala 1:100.000. Subdirección Nacional de Geología, Boletín, Nº 118, p. 22 – 23.

Hauser, A. 1990. Hoja Rancagua VI Región. Carta Hidrogeológica Nº 1 de Chile. Escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. ISSN 0716-7555.

Instituto Nacional de Normalización INN-Chile. 1978. Norma Chilena Oficial 1.333 Of. 78, modificada en 1987. "Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos". Segunda Edición, 1987. Páginas 3, 4 y 5.

Kay, S.M., Godoy, E., Kurtz,A. 2005. Episodic are migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes. Geological Society of America, Bulletin 117(1-2): 67-88.

Klohn, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincia de Santiago, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 8: 95 p. Santiago.

Nuñez, L., Varela, J., Casamiquela, R., Schiappacasse, V., Niemeyer, H., Villagrán, C. 1994. Cuenca de Taguatagua en Chile: el ambiente del Pleistoceno superior y ocupaciones humanas. Revista Chilena de Historia Natural 67: 503-519, 1994.

Nyström, J.O., Parada, M.A., Vergara, M. 1993. Sr-Nd isotope compositions of Cretaceous to Miocene volcanic rocks in central Chile: A trend toward a MORB signature and a reversal with time: Second International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG) No. 2, Abstractos Extendidos: 411-414. Oxford.

Piquer, J., Castelli, J., Charrier, R., Yáñez, G. 2010. El Cenozoico del alto río Teno, Cordillera Principal, Chile central: Estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas, 22 p.

Ricardo Edwards G. Ingenieros, 1982. Estudio de actualización de catastro de usuarios del agua para regularización de sus derechos en estero Chimbarongo tributario del Río Tinguiririca. VI Región.

Sellés, D., Gana, P. 2001. Geología del área Talagante - San Francisco de Mostazal. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos 74: 30 p., 1 mapa escala 1:100.000.

Servicio Nacional de Minería, Gobierno de Chile – Servicio Nacional de Minería de Japón. 1983 – 1984. Estudio Geológico y Geoquímico del Sector de Lo Cipreses, segunda parte, 109 p.

Sernageomin. 2008. Mapa Geológico de Chile Escala 1:1.000.000, formato digital.

Thomas, H. 1958. Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 2: 86 p. Santiago.

Varela, J. 1976 a. Estudio estratigráfico sedimentológico de los depósitos de Laguna Taguatagua, Provincia de O'Higgins. Memoria de prueba para optar al título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Varela, J. 1976 b. Geología del Cuaternario de la Laguna Taguatagua (Provincia de O'Higgins). Actas Primer Congreso Geológico de Chile, Tomo I. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Vergara, M., Drake, R. 1979. Edades K/Ar en secuencias volcánicas continentales postneocomianas de Chile Central; su depositación en cuencas intermontanas restringidas, p. 45 – 47.

ANEXO A

ESTUDIO HIDROLÓGICO

Tabla 1: PRECIPITACIONES ESTACIÓN MARCHIGÜE (mm). (Fuente: Datos extraídos de registros DGA)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1954	0	0	0	42,5	53,5	178	120	35	19,5	3,5	0	15	467
1955	0	0	0	4,5	70,1	170,7	15,5	45	23,5	7,5	0	19	355,8
1956	15	4,5	59	43,5	60,5	65,5	142,5	93	10	30	0	0	445
1957	0	0	0	16	198	16	85	54,5	14	9	0	30	422,5
1958	0	0	0	15	116	174,5	6	115	81	0	11	0	518,5
1959	36	0	21	87	44	130	129	53,5	14	24	0	0	481,5
1960	0	0	0	0	36,5	152	71,1	50,9	0,5	29	0	0	340
1961	14	0	25	0	193	288,4	219,6	140	50,6	50,2	14,9	19,7	976,4
1962	0	0	15,5	77	110	129,5	10,5	52	19	40	0	0	438
1963	0	0	0	65,5	250,7	374,7	285,3	181,9	65,7	65,2	19,3	25,6	1333,9
1964	8	0	0	10	37	106	103	120,7	8,4	0	21	56,8	462,9
1965	0	0	0	62,1	93,6	31	350,1	303,2	17,5	29	9,5	3	899
1966	0	0	0	69,5	38	459,5	114,1	69,5	11,5	13	0,5	36	811,6
1967	2	0	0	0	62,7	30,3	143	21	30	21,5	1,5	0	310
1968	0	0	5	0	0	31	17	25	52,5	3,2	2,5	0	131,2
1969	0	0	0	69,5	41,6	128	70,8	36,7	6,1	17,3	13	0	383
1970	0	0	0	0	65,8	79,2	95	10,4	34,5	7,8	0	0	292,7
1971	0	0	0	24,5	41	223,1	49,1	39	11,5	31	0	20	439,2
1972	3	0	59	9,5	287,4	222,1	97,8	113,8	62,5	23	1	0	817,1
1973	0	0	0	0	132,4	44	190	0	0	71	0	0	437,4
1974	0	0	0	0	233	247	39,4	11,7	23	0	15	10	579,1
1975	0	0	0	5	80,3	77,7	233,2	65,5	1,5	5,1	24	0	492,3
1976	0	0,9	0	0	55	79,5	30,5	31,3	47,4	118,5	44,1	0	406,3
PROM	3,4	0,2	8	26,1	100	149,5	113,8	72,5	26,3	26	7,7	10,2	532,2

Tabla 2: PRECIPITACIONES CUENCA LAS CADENAS (mm).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1954	0	0	0	42,1	53	176,3	118,8	34,7	19,3	3,5	0	14,9	462,4
1955	0	0	0	4,5	69,4	169	15,3	44,6	23,3	7,4	0	18,8	352,3
1956	14,9	4,5	58,4	43,1	59,9	64,9	141,1	92,1	9,9	29,7	0	0	440,7
1957	0	0	0	15,8	196,1	15,8	84,2	54	13,9	8,9	0	29,7	418,4
1958	0	0	0	14,9	114,9	172,8	5,9	113,9	80,2	0	10,9	0	513,4
1959	35,6	0	20,8	86,1	43,6	128,7	127,7	53	13,9	23,8	0	0	476,8
1960	0	0	0	0	36,1	150,5	70,4	50,4	0,5	28,7	0	0	336,7
1961	13,9	0	24,8	0	191,1	285,6	217,5	138,6	50,1	49,7	14,8	19,5	966,9
1962	0	0	15,3	76,2	108,9	128,2	10,4	51,5	18,8	39,6	0	0	433,7
1963	0	0	0	64,9	248,3	371	282,5	180,1	65,1	64,6	19,1	25,3	1320,9
1964	7,9	0	0	9,9	36,6	105	102	119,5	8,3	0	20,8	56,2	458,4
1965	0	0	0	61,5	92,7	30,7	346,7	300,2	17,3	28,7	9,4	3	890,2
1966	0	0	0	68,8	37,6	455	113	68,8	11,4	12,9	0,5	35,6	803,7
1967	2	0	0	0	62,1	30	141,6	20,8	29,7	21,3	1,5	0	307
1968	0	0	5	0	0	30,7	16,8	24,8	52	3,2	2,5	0	129,9
1969	0	0	0	68,8	41,2	126,7	70,1	36,3	6	17,1	12,9	0	379,3
1970	0	0	0	0	65,2	78,4	94,1	10,3	34,2	7,7	0	0	289,8
1971	0	0	0	24,3	40,6	220,9	48,6	38,6	11,4	30,7	0	19,8	434,9
1972	3	0	58,4	9,4	284,6	219,9	96,8	112,7	61,9	22,8	1	0	809,1
1973	0	0	0	0	131,1	43,6	188,1	0	0	70,3	0	0	433,1
1974	0	0	0	0	230,7	244,6	39	11,6	22,8	0	14,9	9,9	573,4
1975	0	0	0	5	79,5	76,9	230,9	64,9	1,5	5,1	23,8	0	487,5
1976	0	0,9	0	0	54,5	78,7	30,2	31	46,9	117,3	43,7	0	402,3
PROM	3,4	0,2	7,9	25,9	99	148	112,7	71,8	26	25,8	7,6	10,1	527

Tabla 3: ESCORRENTÍA TOTAL ESTERO LAS CADENAS (l/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1954	0	0	0	1940	2442	8125	5478	1598	890	160	0	685	1776
1955	0	0	0	157	2438	5937	539	1565	817	261	0	661	1031
1956	652	196	2566	1892	2632	2849	6198	4045	435	1305	0	0	1613
1957	0	0	0	661	8177	661	3510	2251	578	372	0	1239	1454
1958	0	0	0	760	5879	8844	304	5828	4105	0	557	0	2190
1959	1694	0	988	4095	2071	6118	6071	2518	659	1130	0	0	1888
1960	0	0	0	0	1213	5052	2363	1692	17	964	0	0	942
1961	1336	0	2386	0	18420	27525	20958	13361	4829	4791	1422	1880	7766
1962	0	0	664	3297	4709	5544	450	2226	813	1713	0	0	1563
1963	0	0	0	8540	32687	48855	37198	23717	8566	8501	2516	3338	14493
1964	362	0	0	452	1674	4796	4660	5461	380	0	950	2570	1745
1965	0	0	0	5457	8225	2724	30765	26643	1538	2548	835	264	6583
1966	0	0	0	5513	3015	36452	9052	5513	912	1031	40	2856	5365
1967	61	0	0	0	1900	918	4333	636	909	651	45	0	783
1968	0	0	64	0	0	398	218	321	673	41	32	0	140
1969	0	0	0	2602	1557	4792	2651	1374	228	648	487	0	1195
1970	0	0	0	0	1883	2266	2718	298	987	223	0	0	698
1971	0	0	0	1052	1760	9578	2108	1674	494	1331	0	859	1571
1972	240	0	4712	759	22954	17739	7811	9089	4992	1837	80	0	5438
1973	0	0	0	0	5661	1881	8123	0	0	3036	0	0	1558
1974	0	0	0	0	13189	13981	2230	662	1302	0	849	566	2732
1975	0	0	0	241	3864	3739	11222	3152	72	245	1155	0	1974
1976	0	36	0	0	2184	3157	1211	1243	1882	4706	1751	0	1345
PROM	189	10	495	1627	6458	9649	7399	4994	1569	1543	466	649	2863

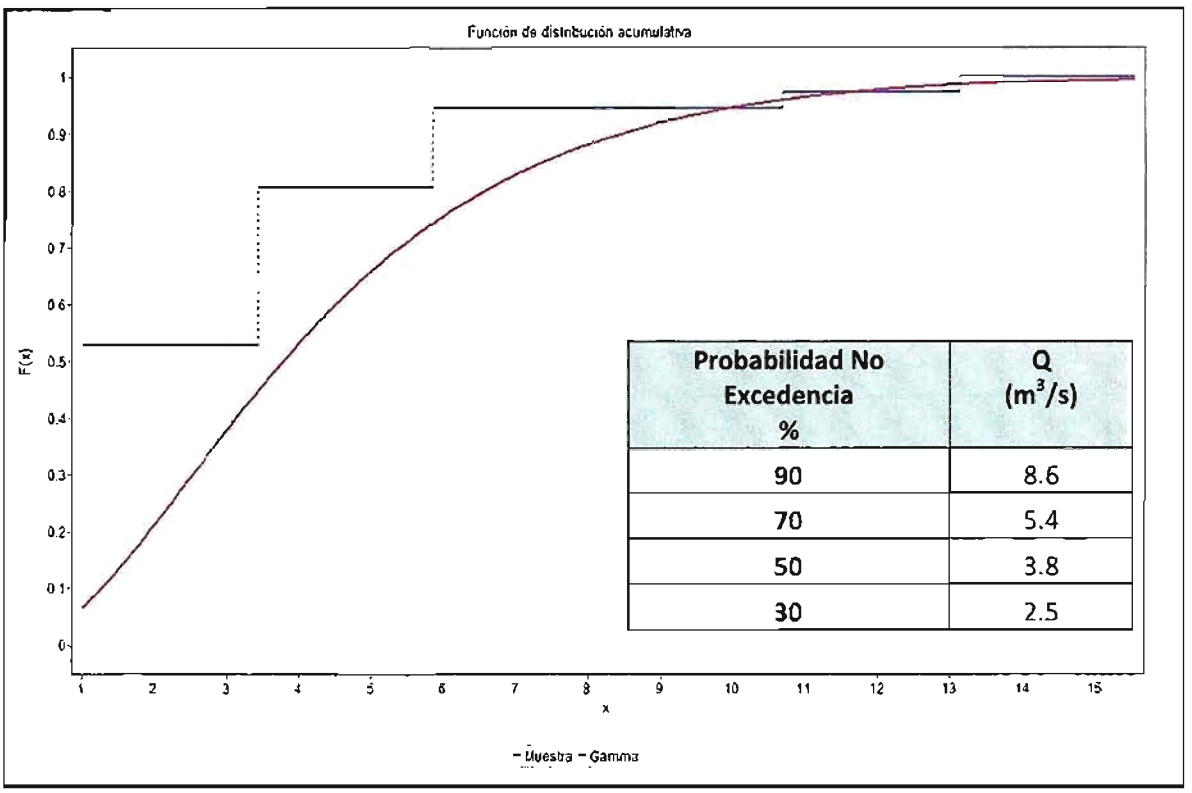
Tabla 4: ESCORRENTÍA SUPERFICIAL ESTERO LAS CADENAS (l/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1954	0	0	0	1746	2198	7313	4930	1438	801	144	0	616	1599
1955	0	0	0	141	2194	5343	485	1409	736	235	0	595	928
1956	587	176	2310	1703	2368	2564	5578	3641	391	1174	0	0	1452
1957	0	0	0	595	7359	595	3159	2026	520	335	0	1115	1309
1958	0	0	0	684	5291	7959	274	5246	3695	0	502	0	1971
1959	1525	0	890	3685	1864	5507	5464	2266	593	1017	0	0	1700
1960	0	0	0	0	1092	4546	2127	1522	15	867	0	0	847
1961	1203	0	2147	0	16578	24772	18863	12025	4346	4312	1280	1692	6989
1962	0	0	597	2967	4238	4990	405	2004	732	1541	0	0	1406
1963	0	0	0	7686	29418	43969	33479	21345	7710	7651	2265	3004	13044
1964	326	0	0	407	1507	4317	4194	4915	342	0	855	2313	1571
1965	0	0	0	4911	7402	2452	27688	23979	1384	2294	751	237	5925
1966	0	0	0	4962	2713	32807	8146	4962	821	928	36	2570	4829
1967	55	0	0	0	1710	826	3900	573	818	586	41	0	705
1968	0	0	58	0	0	358	196	289	606	37	29	0	126
1969	0	0	0	2342	1402	4313	2385	1237	206	583	438	0	1075
1970	0	0	0	0	1694	2039	2446	268	888	201	0	0	628
1971	0	0	0	947	1584	8620	1897	1507	444	1198	0	773	1414
1972	216	0	4241	683	20659	15965	7030	8180	4493	1653	72	0	4895
1973	0	0	0	0	5095	1693	7311	0	0	2732	0	0	1403
1974	0	0	0	0	11870	12583	2007	596	1172	0	764	509	2458
1975	0	0	0	217	3478	3365	10099	2837	65	221	1039	0	1777
1976	0	32	0	0	1966	2842	1090	1119	1694	4236	1576	0	1210
PROM	170	9	445	1464	5812	8684	6659	4495	1412	1389	419	584	2577

- **ENERO**

La función obtenida se representa en la Figura 1:

Figura 1: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Enero.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	8.6
70	5.4
50	3.8
30	2.5

Según esto se tiene que la probabilidad del 90% de No Excedencia se tiene para un caudal de 8,6 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

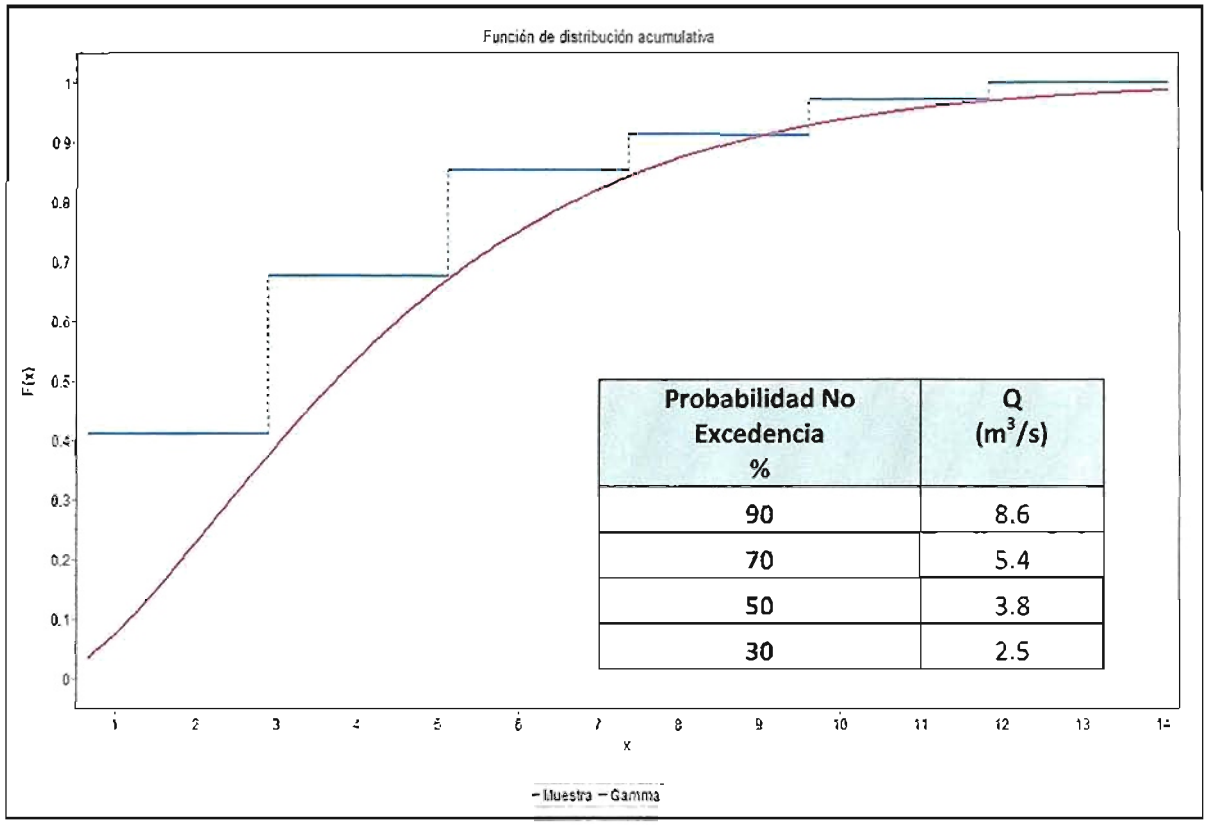
$\alpha = 0,75279$

$\beta = 12,706$

- **FEBRERO**

La función obtenida se representa en la Figura 2:

Figura 2: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Febrero.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	8.6
70	5.4
50	3.8
30	2.5

Según esto se tiene que la probabilidad del 90% de No Excedencia se tiene para un caudal de 8,6 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

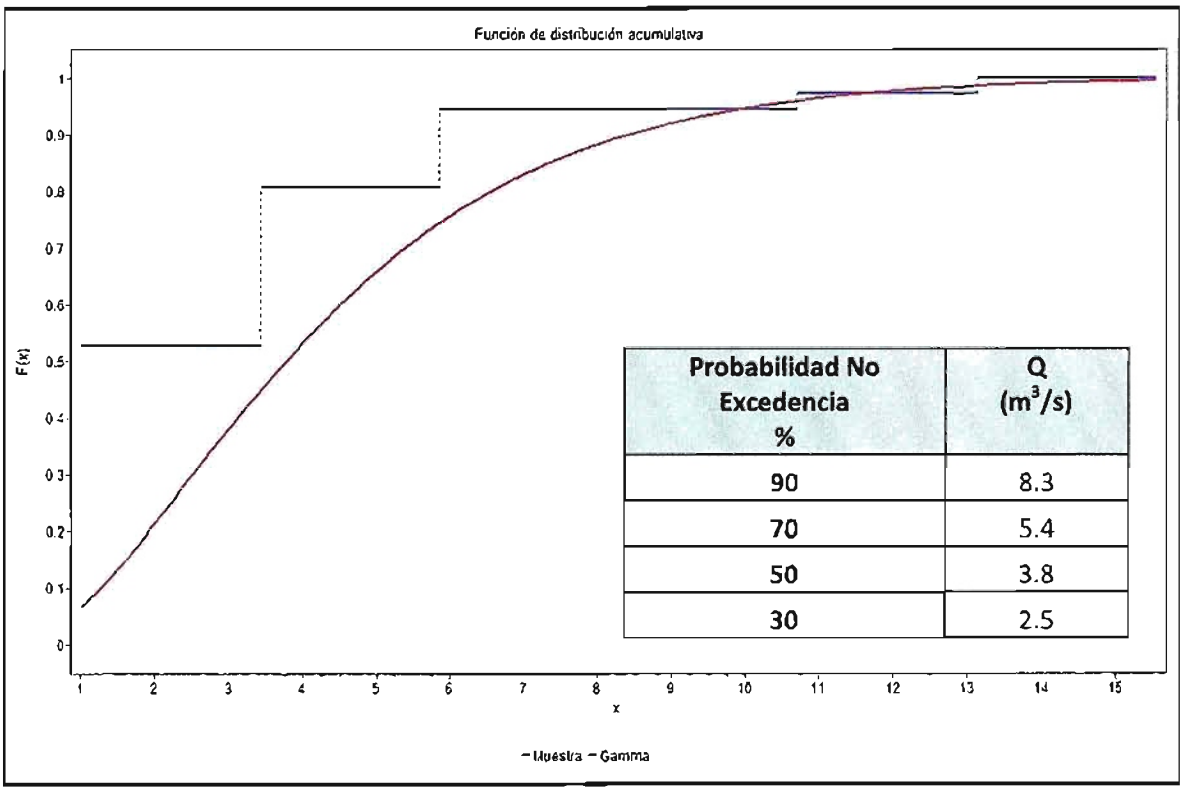
$\alpha = 0,19609$

$\beta = 2.2597$

- **MARZO**

La función obtenida para el mes de Marzo en el Estero Chimbarongo se representa en la Figura 3:

Figura 3: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Marzo.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	8.3
70	5.4
50	3.8
30	2.5

Según esto se tiene que la probabilidad del 90 % de No Excedencia se tiene para un caudal de 8,3 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

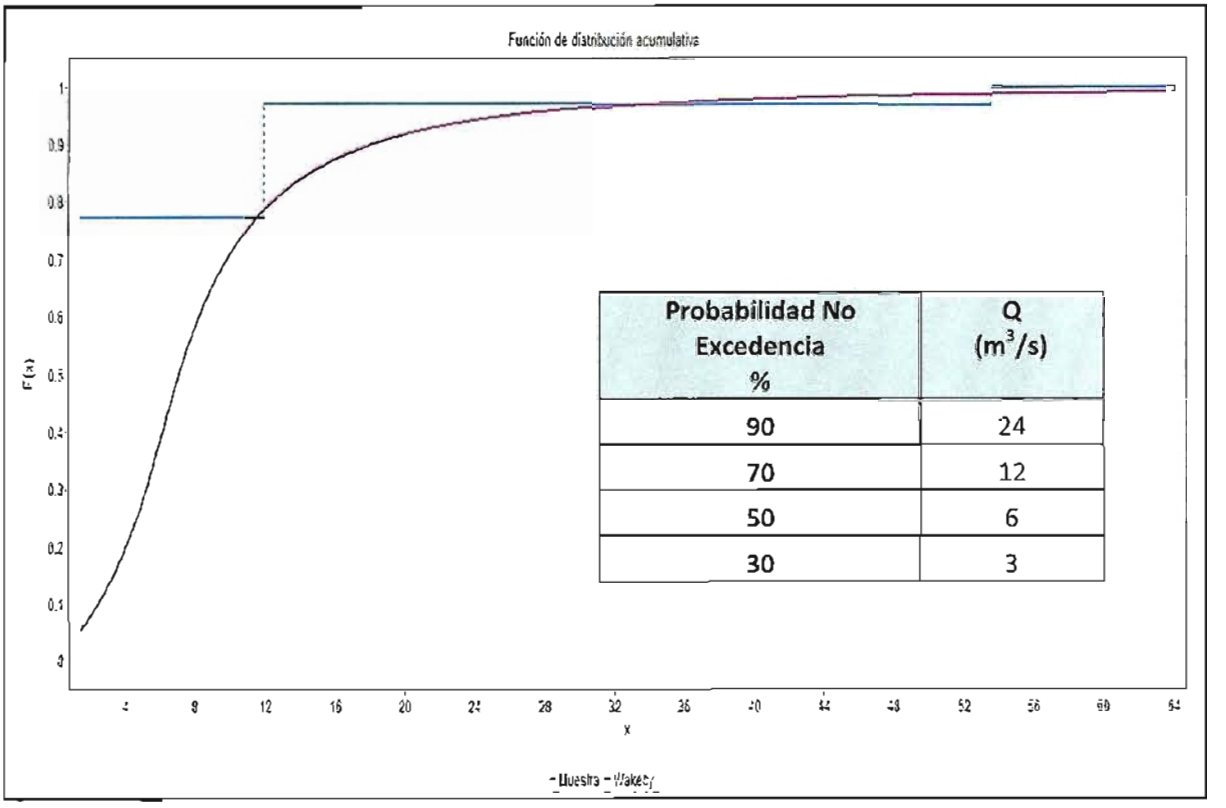
$\alpha = 2.1696$

$\beta = 2.0384$

- **ABRIL**

La función obtenida para el mes de Abril en el Estero Chimbarongo se representa en la Figura 4:

Figura 4: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Abril.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	24
70	12
50	6
30	3

Según esto se tiene que la probabilidad del 90% de No Excedencia se tiene para un caudal de 24 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

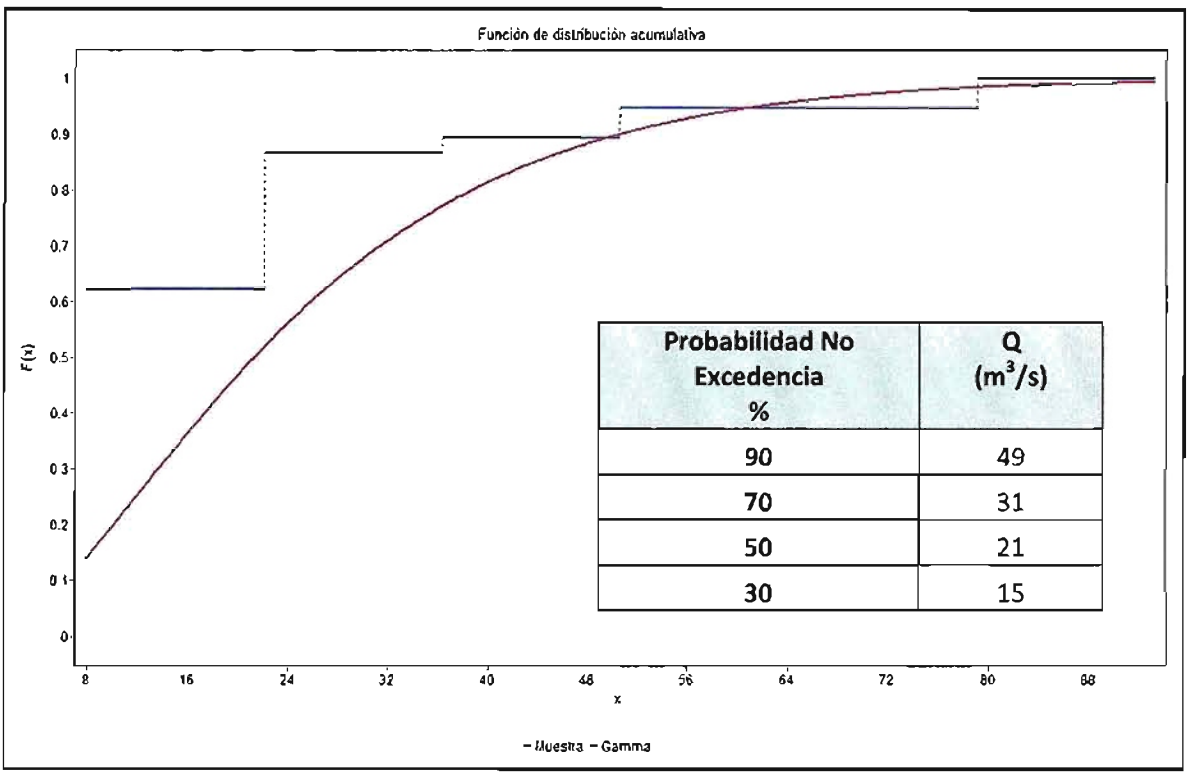
$\alpha = 0.82126$

$\beta = 12.111$

- **MAYO**

La función obtenida para el mes de Mayo en el Estero Chimbarongo se representa en la Figura 5:

Figura 5: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Mayo.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	49
70	31
50	21
30	15

Según esto se tiene que la probabilidad del 90% de No Excedencia se tiene para un caudal de 49 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

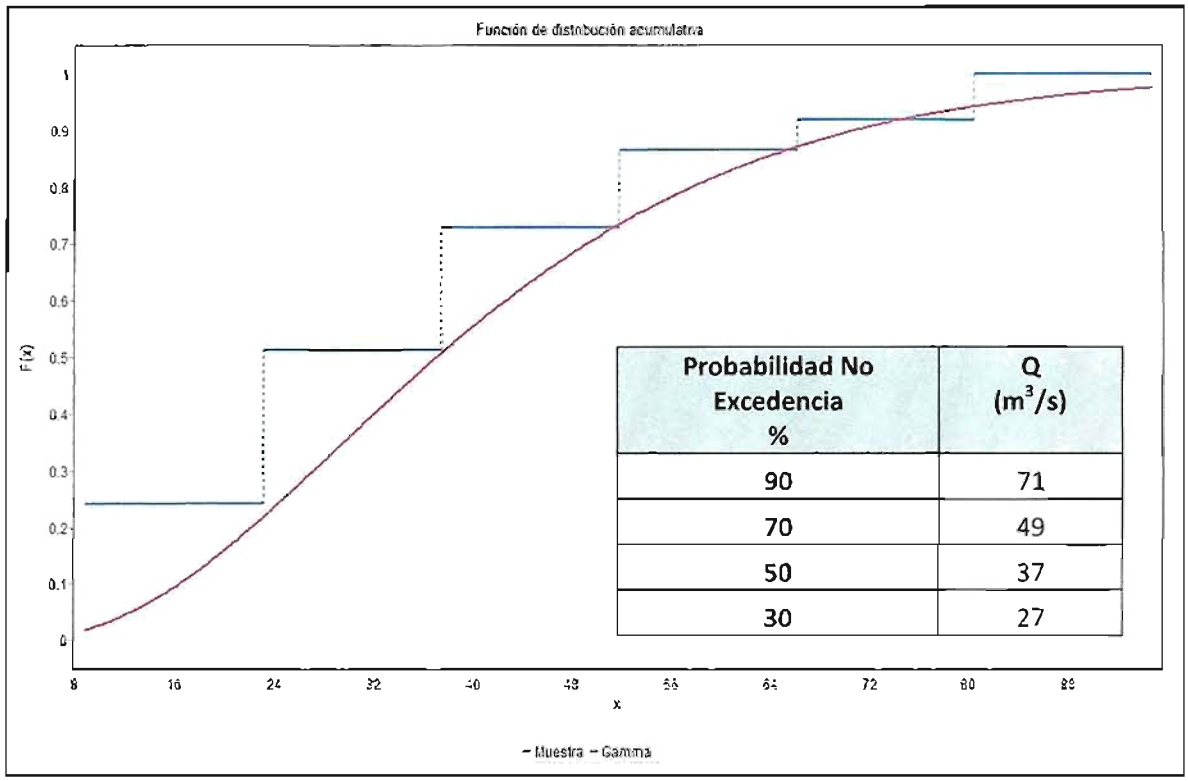
$\alpha = 1.8792$

$\beta = 13.635$

- **JUNIO**

La función obtenida para el mes de Junio en el Estero Chimbarongo se representa en la siguiente Figura 6:

Figura 6: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Junio.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	71
70	49
50	37
30	27

Según esto se tiene que la probabilidad del 90% de No Excedencia se tiene para un caudal de 71 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

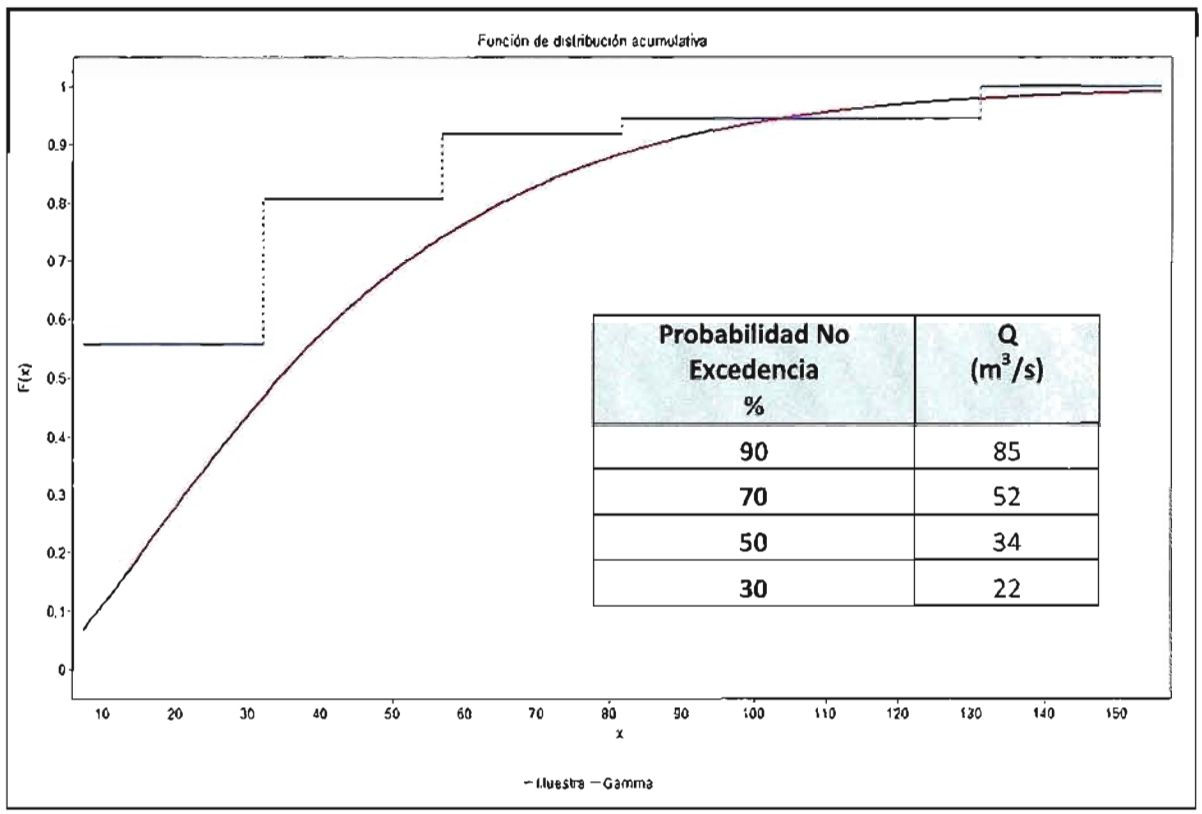
$\alpha = 3.3649$

$\beta = 12.145$

- **JULIO**

La función obtenida para el mes de Julio en el Estero Chimbarongo se representa en la Figura 7:

Figura 7: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Julio.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	85
70	52
50	34
30	22

Según esto se tiene que la probabilidad del 90% de No Excedencia se tiene para un caudal de 85 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

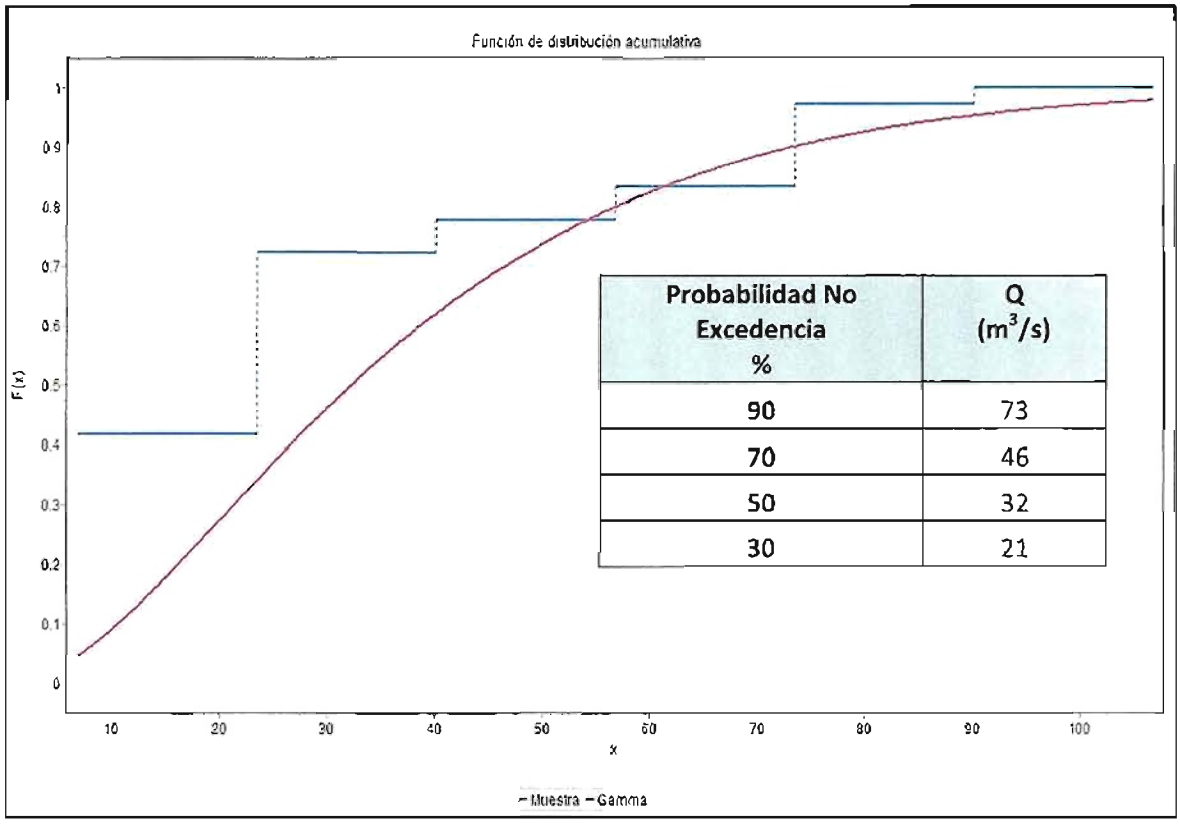
$\alpha = 1.6608$

$\beta = 25.511$

- **AGOSTO**

La función obtenida para el mes de Agosto en el Estero Chimbarongo se representa en la Figura 8:

Figura 8: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Agosto.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	73
70	46
50	32
30	21

Según esto se tiene que la probabilidad del 90% de No Excedencia se tiene para un caudal de 73 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

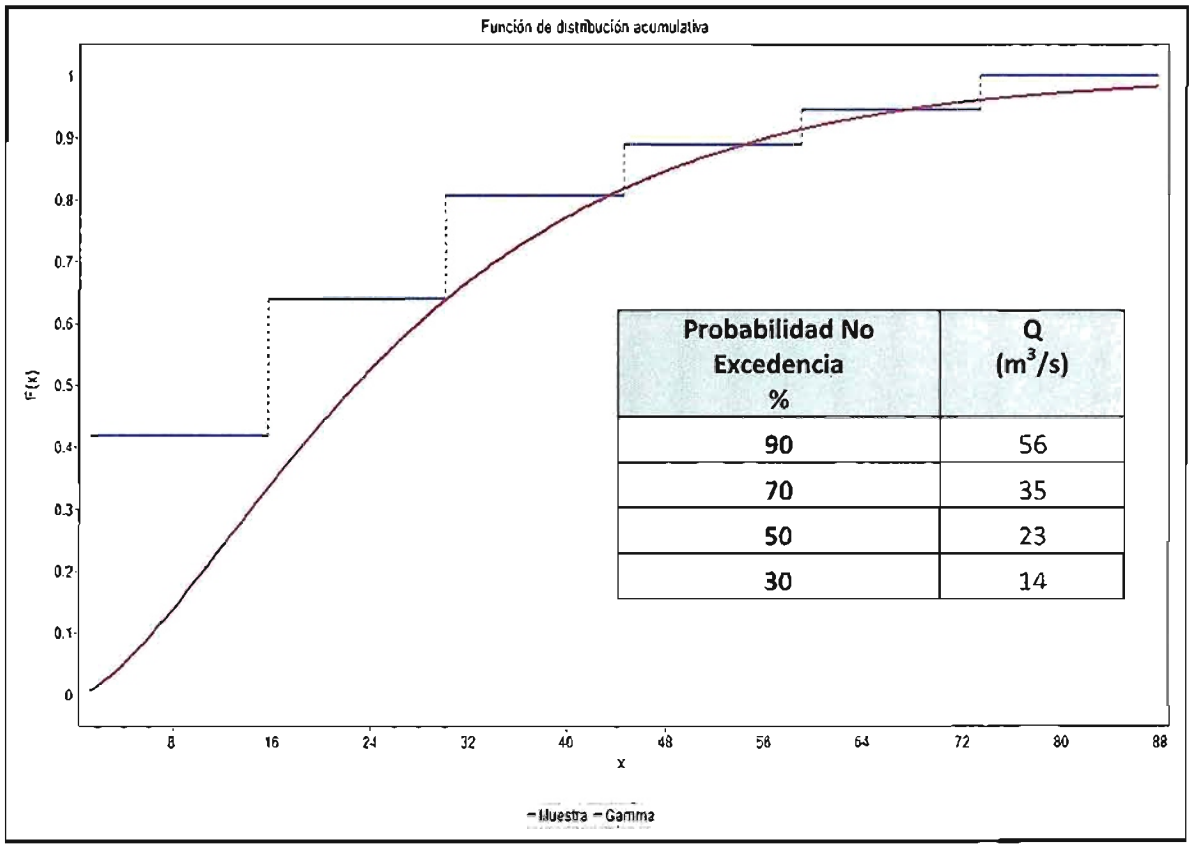
$\alpha = 2.0841$

$\beta = 18.275$

- **SEPTIEMBRE**

La función obtenida para el mes de Septiembre en el Estero Chimbarongo se representa en la Figura 9:

Figura 9: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Septiembre.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	56
70	35
50	23
30	14

Según esto se tiene que la probabilidad del 90% de No Excedencia se tiene para un caudal de 56 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

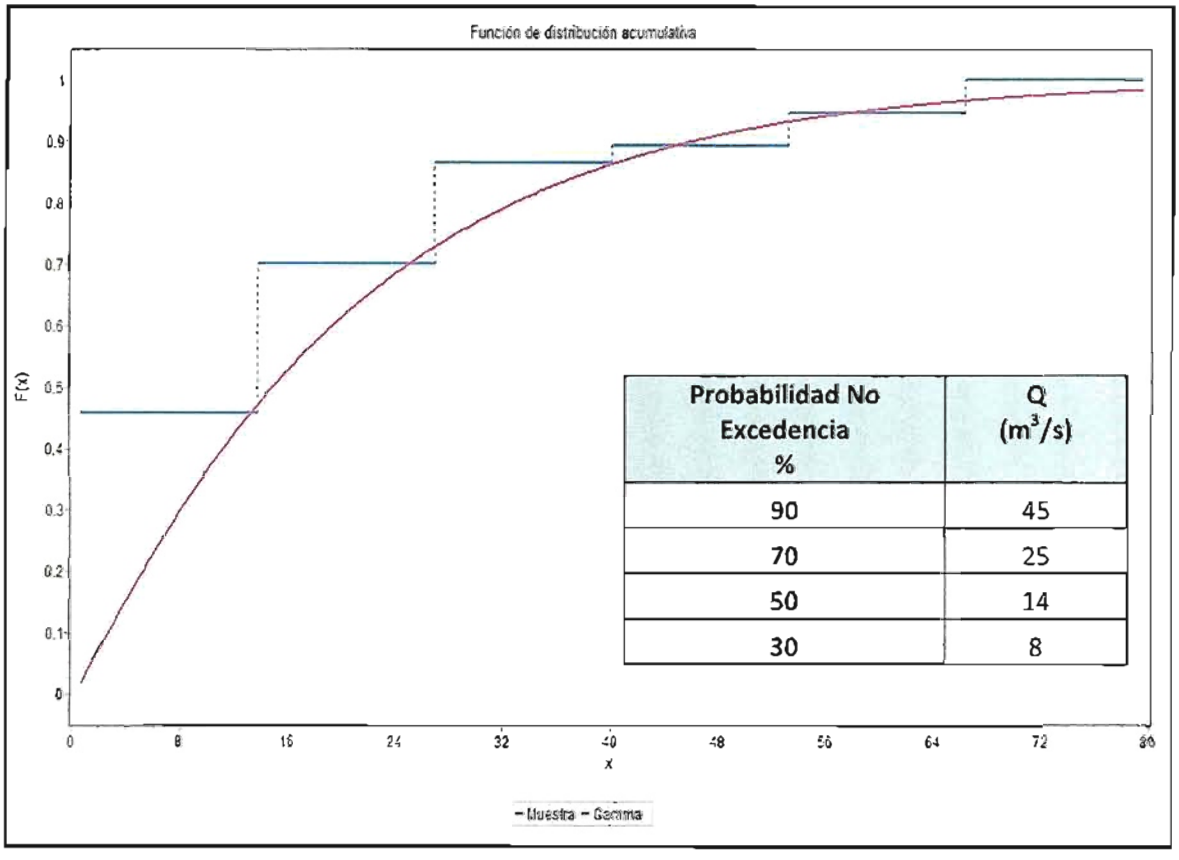
$\alpha = 1.7241$

$\beta = 16.233$

- **OCTUBRE**

La función obtenida para el mes de Octubre en el Estero Chimbarongo se representa en la Figura 10:

Figura 10: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Octubre.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	45
70	25
50	14
30	8

Según esto se tiene que la probabilidad del 90% de No Excedencia se tiene para un caudal de 45 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

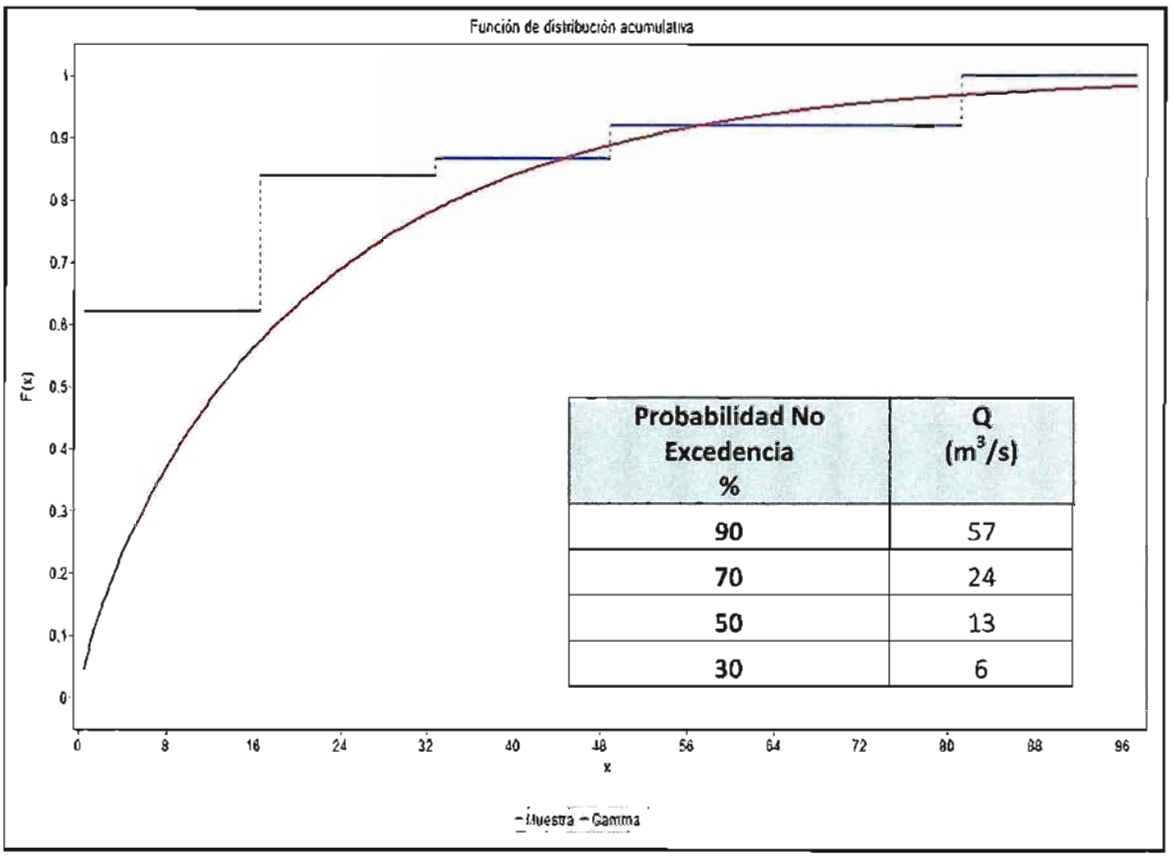
$\alpha = 1.107$

$\beta = 18.49$

- **NOVIEMBRE**

La función obtenida para el mes de Noviembre en el Estero Chimbarongo se representa en la Figura 11:

Figura 11: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Noviembre.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	57
70	24
50	13
30	6

Según esto se tiene que la probabilidad del 90% de No Excedencia se tiene para un caudal de 57 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

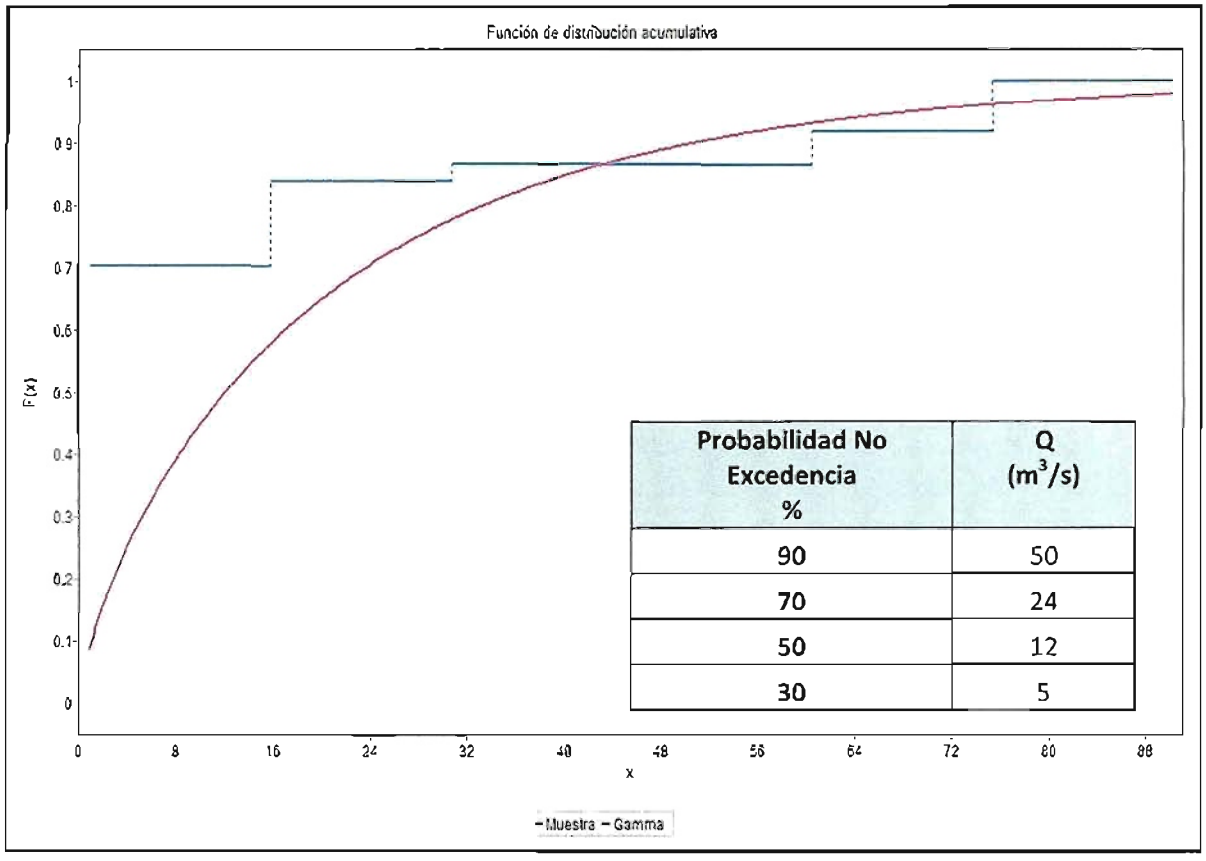
$\alpha = 0.76237$

$\beta = 27.668$

- **DICIEMBRE**

La función obtenida para el mes de Diciembre en el Estero Chimbarongo se representa en la Figura 12:

Figura 12: Función de Distribución Gamma Estero Chimbarongo Diciembre.



Probabilidad No Excedencia %	Q (m^3/s)
90	50
70	24
50	12
30	5

Según esto se tiene que la probabilidad del 90% de No Excedencia se tiene para un caudal de 50 (m^3/s).

Los Parámetros de la Distribución Gamma encontrada fueron:

$\alpha = 0.71516$

$\beta = 28.307$

EXPEDIENTES DGA- REGISTRO DE PRECIPITACIONES ESTACIÓN RÍO CACHAPOAL EN PUENTE ARQUEADO:

31-07-2014 0:00	0.0	01-08-2014 0:00	0.0	02-08-2014 0:00	0.0	03-08-2014 0:00	0.0
31-07-2014 1:00	0.0	01-08-2014 1:00	0.0	02-08-2014 1:00	0.0	03-08-2014 1:00	0.4
31-07-2014 2:00	0.0	01-08-2014 2:00	0.0	02-08-2014 2:00	0.0	03-08-2014 2:00	0.2
31-07-2014 3:00	0.0	01-08-2014 3:00	0.0	02-08-2014 3:00	0.0	03-08-2014 3:00	0.2
31-07-2014 4:00	0.0	01-08-2014 4:00	0.0	02-08-2014 4:00	0.0	03-08-2014 4:00	0.0
31-07-2014 5:00	0.0	01-08-2014 5:00	0.0	02-08-2014 5:00	0.0	03-08-2014 5:00	0.0
31-07-2014 6:00	0.0	01-08-2014 6:00	0.0	02-08-2014 6:00	0.0	03-08-2014 6:00	0.0
31-07-2014 7:00	0.0	01-08-2014 7:00	0.0	02-08-2014 7:00	0.0	03-08-2014 7:00	0.0
31-07-2014 8:00	0.0	01-08-2014 8:00	0.0	02-08-2014 8:00	0.0	03-08-2014 8:00	0.2
31-07-2014 9:00	0.0	01-08-2014 9:00	0.0	02-08-2014 9:00	0.0	03-08-2014 9:00	0.0
31-07-2014 10:00	0.0	01-08-2014 10:00	0.0	02-08-2014 10:00	0.0	03-08-2014 10:00	0.0
31-07-2014 11:00	0.0	01-08-2014 11:00	0.0	02-08-2014 11:00	0.2	03-08-2014 11:00	0.0
31-07-2014 12:00	0.0	01-08-2014 12:00	0.0	02-08-2014 12:00	0.0	03-08-2014 12:00	0.0
31-07-2014 13:00	0.0	01-08-2014 13:00	0.0	02-08-2014 13:00	0.0	03-08-2014 13:00	0.0
31-07-2014 14:00	0.0	01-08-2014 14:00	0.0	02-08-2014 14:00	0.0	03-08-2014 14:00	0.0
31-07-2014 15:00	0.0	01-08-2014 15:00	0.0	02-08-2014 15:00	0.0	03-08-2014 15:00	0.0
31-07-2014 16:00	0.0	01-08-2014 16:00	0.0	02-08-2014 16:00	0.0	03-08-2014 16:00	0.0
31-07-2014 17:00	0.0	01-08-2014 17:00	0.0	02-08-2014 17:00	0.0	03-08-2014 17:00	0.0
31-07-2014 18:00	0.0	01-08-2014 18:00	0.0	02-08-2014 18:00	0.0	03-08-2014 18:00	0.0
31-07-2014 19:00	0.0	01-08-2014 19:00	0.0	02-08-2014 19:00	0.0	03-08-2014 19:00	0.0
31-07-2014 20:00	0.0	01-08-2014 20:00	0.0	02-08-2014 20:00	0.0	03-08-2014 20:00	0.0
31-07-2014 21:00	0.0	01-08-2014 21:00	0.0	02-08-2014 21:00	0.0	03-08-2014 21:00	0.0
31-07-2014 22:00	0.0	01-08-2014 22:00	0.0	02-08-2014 22:00	0.2	03-08-2014 22:00	0.0
31-07-2014 23:00	0.0	01-08-2014 23:00	0.0	02-08-2014 23:00	0.0	03-08-2014 23:00	0.0

04-08-2014 0:00	0.0	05-08-2014 0:00	0.0	06-08-2014 0:00	0.0	07-08-2014 0:00	0.0
04-08-2014 1:00	0.0	05-08-2014 1:00	0.0	06-08-2014 1:00	0.0	07-08-2014 1:00	0.0
04-08-2014 2:00	0.0	05-08-2014 2:00	0.0	06-08-2014 2:00	0.0	07-08-2014 2:00	0.0
04-08-2014 3:00	0.0	05-08-2014 3:00	0.0	06-08-2014 3:00	0.0	07-08-2014 3:00	0.0
04-08-2014 4:00	0.0	05-08-2014 4:00	0.0	06-08-2014 4:00	1.8	07-08-2014 4:00	0.0
04-08-2014 5:00	0.0	05-08-2014 5:00	0.0	06-08-2014 5:00	4.0	07-08-2014 5:00	0.0
04-08-2014 6:00	0.0	05-08-2014 6:00	0.0	06-08-2014 6:00	2.0	07-08-2014 6:00	0.0
04-08-2014 7:00	0.0	05-08-2014 7:00	0.0	06-08-2014 7:00	1.8	07-08-2014 7:00	0.0
04-08-2014 8:00	0.0	05-08-2014 8:00	0.0	06-08-2014 8:00	1.0	07-08-2014 8:00	0.0
04-08-2014 9:00	0.0	05-08-2014 9:00	0.0	06-08-2014 9:00	0.4	07-08-2014 9:00	0.0
04-08-2014 10:00	0.0	05-08-2014 10:00	0.0	06-08-2014 10:00	0.0	07-08-2014 10:00	0.0
04-08-2014 11:00	0.0	05-08-2014 11:00	0.0	06-08-2014 11:00	1.2	07-08-2014 11:00	0.0
04-08-2014 12:00	0.0	05-08-2014 12:00	0.0	06-08-2014 12:00	0.0	07-08-2014 12:00	0.0
04-08-2014 13:00	0.0	05-08-2014 13:00	0.0	06-08-2014 13:00	0.0	07-08-2014 13:00	0.0
04-08-2014 14:00	0.0	05-08-2014 14:00	0.0	06-08-2014 14:00	0.0	07-08-2014 14:00	0.0
04-08-2014 15:00	0.0	05-08-2014 15:00	0.0	06-08-2014 15:00	0.0	07-08-2014 15:00	0.0
04-08-2014 16:00	0.0	05-08-2014 16:00	0.0	06-08-2014 16:00	0.0	07-08-2014 16:00	0.0
04-08-2014 17:00	0.0	05-08-2014 17:00	0.0	06-08-2014 17:00	0.0	07-08-2014 17:00	0.0
04-08-2014 18:00	0.0	05-08-2014 18:00	0.0	06-08-2014 18:00	0.0	07-08-2014 18:00	0.0
04-08-2014 19:00	0.0	05-08-2014 19:00	0.0	06-08-2014 19:00	0.0	07-08-2014 19:00	0.0
04-08-2014 20:00	0.0	05-08-2014 20:00	0.0	06-08-2014 20:00	0.0	07-08-2014 20:00	0.0
04-08-2014 21:00	0.0	05-08-2014 21:00	0.0	06-08-2014 21:00	0.0	07-08-2014 21:00	0.0
04-08-2014 22:00	0.0	05-08-2014 22:00	0.0	06-08-2014 22:00	0.0	07-08-2014 22:00	0.0
04-08-2014 23:00	0.0	05-08-2014 23:00	0.0	06-08-2014 23:00	0.0	07-08-2014 23:00	0.0

08-08-2014 0:00	0.0	09-08-2014 0:00	0.0	10-08-2014 0:00	0.0	11-08-2014 0:00	0.0
08-08-2014 1:00	0.0	09-08-2014 1:00	0.0	10-08-2014 1:00	0.0	11-08-2014 1:00	0.0
08-08-2014 2:00	0.0	09-08-2014 2:00	0.0	10-08-2014 2:00	0.0	11-08-2014 2:00	0.0
08-08-2014 3:00	0.0	09-08-2014 3:00	0.0	10-08-2014 3:00	0.0	11-08-2014 3:00	0.0
08-08-2014 4:00	0.0	09-08-2014 4:00	0.0	10-08-2014 4:00	0.0	11-08-2014 4:00	0.0
08-08-2014 5:00	0.0	09-08-2014 5:00	0.0	10-08-2014 5:00	0.0	11-08-2014 5:00	0.0
08-08-2014 6:00	0.0	09-08-2014 6:00	0.0	10-08-2014 6:00	0.0	11-08-2014 6:00	0.0
08-08-2014 7:00	0.0	09-08-2014 7:00	0.0	10-08-2014 7:00	0.0	11-08-2014 7:00	0.0
08-08-2014 8:00	0.0	09-08-2014 8:00	0.0	10-08-2014 8:00	0.0	11-08-2014 8:00	0.0
08-08-2014 9:00	0.0	09-08-2014 9:00	0.0	10-08-2014 9:00	0.0	11-08-2014 9:00	0.0
08-08-2014 10:00	0.0	09-08-2014 10:00	0.0	10-08-2014 10:00	0.0	11-08-2014 10:00	0.0
08-08-2014 11:00	0.0	09-08-2014 11:00	0.0	10-08-2014 11:00	0.0	11-08-2014 11:00	0.0
08-08-2014 12:00	0.0	09-08-2014 12:00	0.0	10-08-2014 12:00	0.0	11-08-2014 12:00	0.0
08-08-2014 13:00	0.0	09-08-2014 13:00	0.0	10-08-2014 13:00	0.0	11-08-2014 13:00	0.0
08-08-2014 14:00	0.0	09-08-2014 14:00	0.0	10-08-2014 14:00	0.0	11-08-2014 14:00	0.0
08-08-2014 15:00	0.0	09-08-2014 15:00	0.0	10-08-2014 15:00	0.0	11-08-2014 15:00	0.0
08-08-2014 16:00	0.0	09-08-2014 16:00	0.0	10-08-2014 16:00	0.0	11-08-2014 16:00	0.0
08-08-2014 17:00	0.0	09-08-2014 17:00	0.0	10-08-2014 17:00	0.0	11-08-2014 17:00	0.0
08-08-2014 18:00	0.0	09-08-2014 18:00	0.0	10-08-2014 18:00	0.0	11-08-2014 18:00	0.0
08-08-2014 19:00	0.0	09-08-2014 19:00	0.0	10-08-2014 19:00	0.0	11-08-2014 19:00	0.0
08-08-2014 20:00	0.0	09-08-2014 20:00	0.0	10-08-2014 20:00	0.0	11-08-2014 20:00	0.0
08-08-2014 21:00	0.0	09-08-2014 21:00	0.0	10-08-2014 21:00	0.0	11-08-2014 21:00	0.0
08-08-2014 22:00	0.0	09-08-2014 22:00	0.0	10-08-2014 22:00	0.0	11-08-2014 22:00	0.0
08-08-2014 23:00	0.0	09-08-2014 23:00	0.0	10-08-2014 23:00	0.0	11-08-2014 23:00	0.0

12-08-2014 0:00	0.0	13-08-2014 0:00	0.0	14-08-2014 0:00	0.0	15-08-2014 0:00	0.0
12-08-2014 1:00	0.0	13-08-2014 1:00	0.0	14-08-2014 1:00	0.0	15-08-2014 1:00	0.0
12-08-2014 2:00	0.0	13-08-2014 2:00	0.0	14-08-2014 2:00	0.0	15-08-2014 2:00	0.0
12-08-2014 3:00	0.0	13-08-2014 3:00	0.0	14-08-2014 3:00	0.0	15-08-2014 3:00	0.0
12-08-2014 4:00	0.0	13-08-2014 4:00	0.0	14-08-2014 4:00	0.0	15-08-2014 4:00	0.0
12-08-2014 5:00	0.0	13-08-2014 5:00	0.0	14-08-2014 5:00	0.0	15-08-2014 5:00	0.0
12-08-2014 6:00	0.0	13-08-2014 6:00	0.0	14-08-2014 6:00	0.0	15-08-2014 6:00	0.0
12-08-2014 7:00	0.0	13-08-2014 7:00	0.0	14-08-2014 7:00	0.0	15-08-2014 7:00	0.0
12-08-2014 8:00	0.0	13-08-2014 8:00	0.0	14-08-2014 8:00	0.0	15-08-2014 8:00	0.0
12-08-2014 9:00	0.0	13-08-2014 9:00	0.0	14-08-2014 9:00	0.0	15-08-2014 9:00	0.0
12-08-2014 10:00	0.0	13-08-2014 10:00	0.0	14-08-2014 10:00	0.0	15-08-2014 10:00	0.0
12-08-2014 11:00	0.0	13-08-2014 11:00	0.0	14-08-2014 11:00	0.0	15-08-2014 11:00	0.0
12-08-2014 12:00	0.0	13-08-2014 12:00	0.0	14-08-2014 12:00	0.0	15-08-2014 12:00	0.0
12-08-2014 13:00	0.0	13-08-2014 13:00	0.0	14-08-2014 13:00	0.0	15-08-2014 13:00	0.0
12-08-2014 14:00	0.0	13-08-2014 14:00	0.0	14-08-2014 14:00	0.0	15-08-2014 14:00	0.0
12-08-2014 15:00	0.0	13-08-2014 15:00	0.0	14-08-2014 15:00	0.0	15-08-2014 15:00	0.0
12-08-2014 16:00	0.0	13-08-2014 16:00	0.0	14-08-2014 16:00	0.0	15-08-2014 16:00	0.0
12-08-2014 17:00	0.0	13-08-2014 17:00	0.0	14-08-2014 17:00	0.0	15-08-2014 17:00	0.0
12-08-2014 18:00	0.0	13-08-2014 18:00	0.0	14-08-2014 18:00	0.0	15-08-2014 18:00	0.0
12-08-2014 19:00	0.0	13-08-2014 19:00	0.0	14-08-2014 19:00	0.0	15-08-2014 19:00	0.0
12-08-2014 20:00	0.0	13-08-2014 20:00	0.0	14-08-2014 20:00	0.0	15-08-2014 20:00	0.0
12-08-2014 21:00	0.0	13-08-2014 21:00	0.0	14-08-2014 21:00	0.0	15-08-2014 21:00	0.0
12-08-2014 22:00	0.0	13-08-2014 22:00	0.0	14-08-2014 22:00	0.0	15-08-2014 22:00	0.0
12-08-2014 23:00	0.0	13-08-2014 23:00	0.0	14-08-2014 23:00	0.0	15-08-2014 23:00	0.0

16-08-2014 0:00	0.0	17-08-2014 0:00	0.0	18-08-2014 0:00	0.0	19-08-2014 0:00	0.0
16-08-2014 1:00	0.0	17-08-2014 1:00	0.0	18-08-2014 1:00	0.0	19-08-2014 1:00	0.0
16-08-2014 2:00	0.0	17-08-2014 2:00	0.0	18-08-2014 2:00	0.0	19-08-2014 2:00	0.0
16-08-2014 3:00	0.0	17-08-2014 3:00	0.0	18-08-2014 3:00	0.0	19-08-2014 3:00	0.0
16-08-2014 4:00	0.0	17-08-2014 4:00	0.0	18-08-2014 4:00	0.0	19-08-2014 4:00	0.0
16-08-2014 5:00	0.0	17-08-2014 5:00	0.0	18-08-2014 5:00	0.0	19-08-2014 5:00	0.0
16-08-2014 6:00	0.0	17-08-2014 6:00	0.0	18-08-2014 6:00	0.0	19-08-2014 6:00	0.0
16-08-2014 7:00	0.0	17-08-2014 7:00	0.0	18-08-2014 7:00	0.0	19-08-2014 7:00	0.0
16-08-2014 8:00	0.0	17-08-2014 8:00	0.0	18-08-2014 8:00	0.0	19-08-2014 8:00	0.0
16-08-2014 9:00	0.0	17-08-2014 9:00	0.0	18-08-2014 9:00	0.0	19-08-2014 9:00	0.0
16-08-2014 10:00	0.0	17-08-2014 10:00	0.0	18-08-2014 10:00	0.0	19-08-2014 10:00	0.0
16-08-2014 11:00	0.0	17-08-2014 11:00	0.0	18-08-2014 11:00	0.0	19-08-2014 11:00	0.0
16-08-2014 12:00	0.0	17-08-2014 12:00	0.0	18-08-2014 12:00	0.0	19-08-2014 12:00	0.0
16-08-2014 13:00	0.0	17-08-2014 13:00	0.0	18-08-2014 13:00	0.0	19-08-2014 13:00	0.0
16-08-2014 14:00	0.0	17-08-2014 14:00	0.0	18-08-2014 14:00	0.0	19-08-2014 14:00	0.0
16-08-2014 15:00	0.0	17-08-2014 15:00	0.0	18-08-2014 15:00	0.0	19-08-2014 15:00	0.0
16-08-2014 16:00	0.0	17-08-2014 16:00	0.0	18-08-2014 16:00	0.0	19-08-2014 16:00	0.0
16-08-2014 17:00	0.0	17-08-2014 17:00	0.0	18-08-2014 17:00	0.0	19-08-2014 17:00	0.0
16-08-2014 18:00	0.0	17-08-2014 18:00	0.0	18-08-2014 18:00	0.0	19-08-2014 18:00	0.0
16-08-2014 19:00	0.0	17-08-2014 19:00	0.0	18-08-2014 19:00	0.0	19-08-2014 19:00	0.0
16-08-2014 20:00	0.0	17-08-2014 20:00	0.0	18-08-2014 20:00	0.0	19-08-2014 20:00	0.0
16-08-2014 21:00	0.0	17-08-2014 21:00	0.0	18-08-2014 21:00	0.0	19-08-2014 21:00	0.0
16-08-2014 22:00	0.0	17-08-2014 22:00	0.0	18-08-2014 22:00	0.0	19-08-2014 22:00	0.0
16-08-2014 23:00	0.0	17-08-2014 23:00	0.0	18-08-2014 23:00	0.0	19-08-2014 23:00	0.0

20-08-2014 0:00	0.0	21-08-2014 0:00	0.0	22-08-2014 0:00	0.0	23-08-2014 0:00	0.0
20-08-2014 1:00	0.0	21-08-2014 1:00	0.0	22-08-2014 1:00	0.0	23-08-2014 1:00	0.0
20-08-2014 2:00	0.0	21-08-2014 2:00	0.0	22-08-2014 2:00	0.0	23-08-2014 2:00	0.2
20-08-2014 3:00	0.0	21-08-2014 3:00	0.0	22-08-2014 3:00	0.0	23-08-2014 3:00	0.1
20-08-2014 4:00	0.0	21-08-2014 4:00	0.0	22-08-2014 4:00	0.0	23-08-2014 4:00	0.2
20-08-2014 5:00	0.0	21-08-2014 5:00	0.0	22-08-2014 5:00	0.0	23-08-2014 5:00	0.2
20-08-2014 6:00	0.0	21-08-2014 6:00	0.0	22-08-2014 6:00	0.0	23-08-2014 6:00	0.0
20-08-2014 7:00	0.0	21-08-2014 7:00	0.0	22-08-2014 7:00	0.0	23-08-2014 7:00	0.2
20-08-2014 8:00	0.0	21-08-2014 8:00	0.0	22-08-2014 8:00	0.0	23-08-2014 8:00	1.5
20-08-2014 9:00	0.0	21-08-2014 9:00	0.0	22-08-2014 9:00	0.0	23-08-2014 9:00	1.1
20-08-2014 10:00	0.0	21-08-2014 10:00	0.0	22-08-2014 10:00	0.0	23-08-2014 10:00	1.3
20-08-2014 11:00	0.0	21-08-2014 11:00	0.0	22-08-2014 11:00	0.0	23-08-2014 11:00	1.8
20-08-2014 12:00	0.0	21-08-2014 12:00	0.0	22-08-2014 12:00	0.0	23-08-2014 12:00	0.9
20-08-2014 13:00	0.0	21-08-2014 13:00	0.0	22-08-2014 13:00	0.0	23-08-2014 13:00	0.2
20-08-2014 14:00	0.0	21-08-2014 14:00	0.0	22-08-2014 14:00	0.0	23-08-2014 14:00	1.3
20-08-2014 15:00	0.0	21-08-2014 15:00	0.0	22-08-2014 15:00	0.0	23-08-2014 15:00	2.2
20-08-2014 16:00	0.0	21-08-2014 16:00	0.0	22-08-2014 16:00	0.0	23-08-2014 16:00	3.1
20-08-2014 17:00	0.0	21-08-2014 17:00	0.0	22-08-2014 17:00	0.0	23-08-2014 17:00	0.4
20-08-2014 18:00	0.0	21-08-2014 18:00	0.0	22-08-2014 18:00	0.0	23-08-2014 18:00	4.3
20-08-2014 19:00	0.0	21-08-2014 19:00	0.0	22-08-2014 19:00	0.0	23-08-2014 19:00	5.6
20-08-2014 20:00	0.0	21-08-2014 20:00	0.0	22-08-2014 20:00	0.0	23-08-2014 20:00	1.5
20-08-2014 21:00	0.0	21-08-2014 21:00	0.0	22-08-2014 21:00	0.0	23-08-2014 21:00	1.8
20-08-2014 22:00	0.0	21-08-2014 22:00	0.0	22-08-2014 22:00	0.0	23-08-2014 22:00	0.5
20-08-2014 23:00	0.0	21-08-2014 23:00	0.0	22-08-2014 23:00	0.0	23-08-2014 23:00	0.0

24-08-2014 0:00	0.0	25-08-2014 0:00	0.0	26-08-2014 0:00	0.0	27-08-2014 0:00	0.0
24-08-2014 1:00	0.5	25-08-2014 1:00	0.0	26-08-2014 1:00	0.0	27-08-2014 1:00	0.0
24-08-2014 2:00	0.7	25-08-2014 2:00	0.0	26-08-2014 2:00	0.0	27-08-2014 2:00	0.0
24-08-2014 3:00	5.0	25-08-2014 3:00	0.0	26-08-2014 3:00	0.0	27-08-2014 3:00	0.0
24-08-2014 4:00	2.7	25-08-2014 4:00	0.0	26-08-2014 4:00	0.0	27-08-2014 4:00	0.0
24-08-2014 5:00	2.9	25-08-2014 5:00	0.0	26-08-2014 5:00	0.0	27-08-2014 5:00	0.0
24-08-2014 6:00	0.7	25-08-2014 6:00	0.0	26-08-2014 6:00	0.0	27-08-2014 6:00	0.0
24-08-2014 7:00	0.0	25-08-2014 7:00	0.0	26-08-2014 7:00	0.0	27-08-2014 7:00	0.0
24-08-2014 8:00	0.0	25-08-2014 8:00	0.0	26-08-2014 8:00	0.0	27-08-2014 8:00	0.0
24-08-2014 9:00	0.0	25-08-2014 9:00	0.0	26-08-2014 9:00	0.0	27-08-2014 9:00	0.0
24-08-2014 10:00	0.0	25-08-2014 10:00	0.0	26-08-2014 10:00	0.0	27-08-2014 10:00	0.0
24-08-2014 11:00	0.2	25-08-2014 11:00	0.0	26-08-2014 11:00	0.0	27-08-2014 11:00	0.0
24-08-2014 12:00	0.3	25-08-2014 12:00	0.0	26-08-2014 12:00	0.0	27-08-2014 12:00	0.0
24-08-2014 13:00	0.3	25-08-2014 13:00	0.0	26-08-2014 13:00	0.0	27-08-2014 13:00	0.0
24-08-2014 14:00	0.2	25-08-2014 14:00	0.0	26-08-2014 14:00	0.0	27-08-2014 14:00	0.0
24-08-2014 15:00	0.0	25-08-2014 15:00	0.0	26-08-2014 15:00	0.0	27-08-2014 15:00	0.0
24-08-2014 16:00	0.2	25-08-2014 16:00	0.0	26-08-2014 16:00	0.0	27-08-2014 16:00	0.0
24-08-2014 17:00	0.0	25-08-2014 17:00	0.0	26-08-2014 17:00	0.0	27-08-2014 17:00	0.0
24-08-2014 18:00	0.0	25-08-2014 18:00	0.0	26-08-2014 18:00	0.0	27-08-2014 18:00	0.0
24-08-2014 19:00	0.0	25-08-2014 19:00	0.0	26-08-2014 19:00	0.0	27-08-2014 19:00	0.0
24-08-2014 20:00	0.0	25-08-2014 20:00	0.0	26-08-2014 20:00	0.0	27-08-2014 20:00	0.0
24-08-2014 21:00	0.0	25-08-2014 21:00	0.0	26-08-2014 21:00	0.0	27-08-2014 21:00	0.0
24-08-2014 22:00	0.0	25-08-2014 22:00	0.0	26-08-2014 22:00	0.0	27-08-2014 22:00	0.0
24-08-2014 23:00	0.0	25-08-2014 23:00	0.0	26-08-2014 23:00	0.0	27-08-2014 23:00	0.0

28-08-2014 0:00	0.0	29-08-2014 0:00	0.0	30-08-2014 0:00	0.0	31-08-2014 0:00	0.0
28-08-2014 1:00	0.0	29-08-2014 1:00	0.0	30-08-2014 1:00	0.0	31-08-2014 1:00	0.0
28-08-2014 2:00	0.0	29-08-2014 2:00	0.0	30-08-2014 2:00	0.5	31-08-2014 2:00	0.0
28-08-2014 3:00	0.0	29-08-2014 3:00	0.0	30-08-2014 3:00	0.2	31-08-2014 3:00	0.0
28-08-2014 4:00	0.0	29-08-2014 4:00	0.0	30-08-2014 4:00	0.2	31-08-2014 4:00	0.0
28-08-2014 5:00	0.0	29-08-2014 5:00	0.0	30-08-2014 5:00	0.3	31-08-2014 5:00	0.0
28-08-2014 6:00	0.0	29-08-2014 6:00	0.0	30-08-2014 6:00	3.6	31-08-2014 6:00	0.0
28-08-2014 7:00	0.0	29-08-2014 7:00	0.0	30-08-2014 7:00	0.0	31-08-2014 7:00	0.0
28-08-2014 8:00	0.0	29-08-2014 8:00	0.0	30-08-2014 8:00	0.0	31-08-2014 8:00	0.0
28-08-2014 9:00	0.0	29-08-2014 9:00	0.0	30-08-2014 9:00	0.0	31-08-2014 9:00	0.0
28-08-2014 10:00	0.0	29-08-2014 10:00	0.0	30-08-2014 10:00	0.0	31-08-2014 10:00	0.0
28-08-2014 11:00	0.0	29-08-2014 11:00	0.0	30-08-2014 11:00	0.0	31-08-2014 11:00	0.0
28-08-2014 12:00	0.0	29-08-2014 12:00	0.0	30-08-2014 12:00	0.0	31-08-2014 12:00	0.0
28-08-2014 13:00	0.0	29-08-2014 13:00	0.0	30-08-2014 13:00	0.2	31-08-2014 13:00	0.0
28-08-2014 14:00	0.0	29-08-2014 14:00	0.0	30-08-2014 14:00	0.1	31-08-2014 14:00	0.0
28-08-2014 15:00	0.0	29-08-2014 15:00	0.0	30-08-2014 15:00	0.0	31-08-2014 15:00	0.0
28-08-2014 16:00	0.0	29-08-2014 16:00	0.0	30-08-2014 16:00	0.0	31-08-2014 16:00	0.0
28-08-2014 17:00	0.0	29-08-2014 17:00	0.0	30-08-2014 17:00	0.0	31-08-2014 17:00	0.0
28-08-2014 18:00	0.0	29-08-2014 18:00	0.0	30-08-2014 18:00	0.0	31-08-2014 18:00	0.0
28-08-2014 19:00	0.0	29-08-2014 19:00	0.0	30-08-2014 19:00	0.0	31-08-2014 19:00	0.0
28-08-2014 20:00	0.0	29-08-2014 20:00	0.0	30-08-2014 20:00	0.0	31-08-2014 20:00	0.0
28-08-2014 21:00	0.0	29-08-2014 21:00	0.0	30-08-2014 21:00	0.0	31-08-2014 21:00	0.0
28-08-2014 22:00	0.0	29-08-2014 22:00	0.0	30-08-2014 22:00	0.0	31-08-2014 22:00	0.0
28-08-2014 23:00	0.0	29-08-2014 23:00	0.0	30-08-2014 23:00	0.0	31-08-2014 23:00	0.1

01-09-2014 0:00	0.0	02-09-2014 0:00	0.0	03-09-2014 0:00	0.1	04-09-2014 0:00	0.2
01-09-2014 1:00	0.0	02-09-2014 1:00	0.0	03-09-2014 1:00	0.0	04-09-2014 1:00	0.0
01-09-2014 2:00	1.0	02-09-2014 2:00	0.0	03-09-2014 2:00	0.0	04-09-2014 2:00	0.0
01-09-2014 3:00	0.0	02-09-2014 3:00	0.0	03-09-2014 3:00	0.0	04-09-2014 3:00	0.0
01-09-2014 4:00	0.0	02-09-2014 4:00	0.0	03-09-2014 4:00	1.3	04-09-2014 4:00	0.0
01-09-2014 5:00	0.0	02-09-2014 5:00	0.0	03-09-2014 5:00	0.4	04-09-2014 5:00	0.0
01-09-2014 6:00	0.0	02-09-2014 6:00	0.0	03-09-2014 6:00	0.2	04-09-2014 6:00	0.0
01-09-2014 7:00	0.0	02-09-2014 7:00	0.0	03-09-2014 7:00	0.0	04-09-2014 7:00	0.2
01-09-2014 8:00	0.0	02-09-2014 8:00	0.0	03-09-2014 8:00	0.2	04-09-2014 8:00	0.2
01-09-2014 9:00	0.0	02-09-2014 9:00	0.0	03-09-2014 9:00	0.0	04-09-2014 9:00	0.9
01-09-2014 10:00	0.2	02-09-2014 10:00	0.0	03-09-2014 10:00	0.0	04-09-2014 10:00	2.3
01-09-2014 11:00	0.0	02-09-2014 11:00	0.0	03-09-2014 11:00	0.0	04-09-2014 11:00	3.8
01-09-2014 12:00	0.1	02-09-2014 12:00	0.0	03-09-2014 12:00	0.0	04-09-2014 12:00	2.6
01-09-2014 13:00	0.0	02-09-2014 13:00	0.0	03-09-2014 13:00	0.0	04-09-2014 13:00	2.7
01-09-2014 14:00	0.0	02-09-2014 14:00	0.2	03-09-2014 14:00	0.0	04-09-2014 14:00	1.6
01-09-2014 15:00	0.0	02-09-2014 15:00	0.0	03-09-2014 15:00	0.0	04-09-2014 15:00	2.7
01-09-2014 16:00	0.0	02-09-2014 16:00	0.0	03-09-2014 16:00	0.0	04-09-2014 16:00	0.2
01-09-2014 17:00	0.0	02-09-2014 17:00	1.3	03-09-2014 17:00	0.0	04-09-2014 17:00	0.2
01-09-2014 18:00	0.0	02-09-2014 18:00	1.4	03-09-2014 18:00	0.0	04-09-2014 18:00	0.1
01-09-2014 19:00	0.0	02-09-2014 19:00	0.1	03-09-2014 19:00	0.0	04-09-2014 19:00	0.0
01-09-2014 20:00	0.0	02-09-2014 20:00	0.1	03-09-2014 20:00	0.0	04-09-2014 20:00	0.4
01-09-2014 21:00	0.0	02-09-2014 21:00	0.1	03-09-2014 21:00	0.0	04-09-2014 21:00	1.4
01-09-2014 22:00	0.0	02-09-2014 22:00	0.2	03-09-2014 22:00	0.2	04-09-2014 22:00	2.3
01-09-2014 23:00	0.0	02-09-2014 23:00	0.3	03-09-2014 23:00	0.0	04-09-2014 23:00	2.1

05-09-2014 0:00	0.5	06-09-2014 0:00	0.0
05-09-2014 1:00	1.3	06-09-2014 1:00	0.0
05-09-2014 2:00	0.7	06-09-2014 2:00	0.0
05-09-2014 3:00	1.4	06-09-2014 3:00	0.0
05-09-2014 4:00	1.1	06-09-2014 4:00	0.1
05-09-2014 5:00	1.8	Desde 06-09-2014 5:00 hasta 17-11-2014 23:00	0.0
05-09-2014 6:00	0.9		
05-09-2014 7:00	0.0		
05-09-2014 8:00	0.0		
05-09-2014 9:00	0.0		
05-09-2014 10:00	0.0		
05-09-2014 11:00	0.0		
05-09-2014 12:00	0.2		
05-09-2014 13:00	0.2		
05-09-2014 14:00	0.2		
05-09-2014 15:00	0.0		
05-09-2014 16:00	0.0		
05-09-2014 17:00	0.0		
05-09-2014 18:00	0.0		
05-09-2014 19:00	0.0		
05-09-2014 20:00	0.0		
05-09-2014 21:00	0.0		
05-09-2014 22:00	0.0		
05-09-2014 23:00	0.0		

ANEXO B

ANÁLISIS LEGAL DE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

1 ANÁLISIS LEGAL DE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

1.1 Recarga Artificial de Acuíferos

1.1.1 Introducción

Al extraer agua de un determinado acuífero, su recarga natural puede acelerarse y mantener así constante la cantidad de agua del mismo, pero si extrae más que esa recarga, necesariamente el acuífero disminuirá y habrá que ir por agua a más metros de profundidad. Los que con antelación estaban explotando sus pozos pueden sufrir perjuicios porque la hondura de éstos puede ser insuficiente y quedar "colgados", o sea, inutilizables.

También puede acontecer que al extraerse más de lo conveniente el acuífero se contamine, por ejemplo con las aguas saladas del mar, perjudicando los aprovechamientos existentes en él de terceros.

¿Cuánto se puede explotar un determinado acuífero y cómo debe hacerse para que el máximo de personas puedan extraer sus aguas sin dañarlo ni perjudicar a otros?

Para responder esas interrogantes se requiere de mucha investigación y de un permanente estudio del comportamiento de los acuíferos en explotación, por explotar y de ellos en relación con la cuenca u hoya hidrográfica.

Los avances que se experimenten en el conocimiento de estas materias mostrarán a las autoridades, legisladores, investigadores y particulares los derroteros a seguir en el futuro.

El actual Código de Aguas, contenido en el Decreto con Fuerza de Ley N° 1.122, del 13 de agosto de 1981, que nos rige desde el 29 de octubre de ese año, data de su publicación en el Diario Oficial de la República, ha establecido que por regla general, para explotar aguas subterráneas se requiere de un derecho real de aprovechamiento de aguas, salvo las excepciones legales.

Asimismo, ha conferido a la autoridad pública, léase, Dirección General de Aguas, la potestad reglada de constituir dicho derecho real, como también la de limitar la explotación de los acuíferos, a través de la reducción temporal del ejercicio del derecho y la declaración de áreas de prohibición y de restricción.

Por otra parte, la mencionada recopilación de leyes, facultó al Director General de Aguas, para dictar normas generales en materia de exploración y explotación de aguas subterráneas.

Pues bien, solamente en los artículos 64 y 67 inciso 1°, del Código de Aguas, al tratar de las zonas de prohibición y de las áreas restricción, se hacía mención a la recarga artificial de acuíferos, pero dicho mecanismo no era regulado en modo alguno, sólo se le mencionaba a propósito del alzamiento o mantención de la zona de prohibición y de la transformación de los derechos provisionales concedidos en las áreas de restricción.

Recién el 16 de junio de 2005, con la entrada en vigencia de la Ley N° 20.017, que introdujo importantes modificaciones al Código de Aguas de 1981, se reguló, aunque de manera incipiente, la ejecución de obras de recarga artificial de acuíferos. Esa regulación, consistió fundamentalmente en agregar un inciso 2° al artículo 66 y en modificar el artículo 67 inciso 1°, segunda parte del citado texto legal.

En este acápite nos ocuparemos de analizar legalmente la normativa que actualmente regula la infiltración artificial de acuíferos.

Para lo anterior se efectúa un estudio y análisis de las disposiciones legales y reglamentarias sobre el régimen legal de las aguas, para lo cual se recurrirá a los elementos de interpretación que proporciona el derecho común, esto es, el Código Civil.

Específicamente, se abordará el contexto de la legislación de aguas subterráneas que es atingente, para comprender cabalmente la institución, asimismo, para que el análisis sea completo y exhaustivo, debe estudiarse la situación legal existente

en esta materia, antes de la reforma del año 2005 y naturalmente, las disposiciones de ley modificatoria que incluyó una normativa más sistemática, aunque no suficiente, sobre la recarga artificial de acuíferos.

Finalmente, hacemos presente que además de la normativa sustantiva que contempla la ley y el reglamento sobre la materia, se expondrán los aspectos procedimentales que contempla el Código de Aguas al respecto.

1.1.2 Regulación De Las Aguas Subterráneas

El artículo 2° inciso final del Código de Aguas las define como "(...) las que están ocultas en el seno de la tierra y que no ha sido alumbradas"

Las aguas subterráneas se encuentran reguladas en el Título VI del Libro I del Código de Aguas.

El mencionado Título I regla tanto la exploración como la explotación de aguas subterráneas. A su vez, los artículos 58 inciso 1° y 59, disponen que tanto la exploración como la explotación de aguas subterráneas debe efectuarse conforme a las normas generales establecidas por la Dirección General de Aguas.

Las aludidas normas generales para la exploración y para explotación de aguas subterráneas se encuentran contenidas hoy en día en la Resolución DGA N° 425 de 31 de diciembre de 2007, publicada en el Diario Oficial de la República, con fecha 16 de abril de 2008, data en que comenzó a regir con carácter obligatorio.

Para los fines del análisis legal que contiene este informe, nos limitaremos solamente a las disposiciones legales y reglamentarias relativas a la explotación de aguas subterráneas.

1.1.3 Para Explotar Aguas Subterráneas Se Requiere De Un Derecho De Aprovechamiento

La utilización de las aguas subterráneas en forma exclusiva, esto es, sacándolas del seno de la tierra para que dejen de formar parte de acuífero, excluyendo a otros de su uso, para emplearla como un bien natural necesario para la realización de actividades productivas de bienes y servicios, requiere de un permiso especial que nuestra legislación denomina "derecho de aprovechamiento de aguas".

Es de la esencia de este derecho que el que lo detenta pueda hacer un uso exclusivo del caudal o dotación de aguas correspondiente, y por ende, excluyendo a otros de ella.

El artículo 6° inciso 1°, del Código de Aguas lo define como "un derecho real que recae sobre las aguas y consiste en el uso y goce de ellas, con los requisitos y en conformidad a las reglas que prescribe este Código"

Resulta útil destacar que el derecho real de aprovechamiento solo faculta a su titular para usar y gozar de las aguas, mas nunca podrá jurídicamente disponer de ellas, habida cuenta que por su carácter de bien público no se encuentra en el comercio humano, existiendo objeto ilícito en toda estipulación contractual en tal sentido.

Sin perjuicio de la definición legal, en la práctica el derecho real de aprovechamiento de aguas consiste en la facultad para acceder a una fuente natural para extraer de ella una dotación de agua determinada en un lugar también determinado, para usar y gozar de esas aguas en forma exclusiva y excluyente[1].

[1] Figueroa Del Río, Luis Simón. Asignación y Distribución de la Aguas Terrestres. Universidad Gabriela Mistral.Santiago,1995.pág. 25 y siguientes

Pues bien, de la definición doctrinaria fluyen los tres elementos que componen el derecho real de aprovechamiento de aguas, a saber, (a) una fuente natural superficial o subterránea determinada (artículos 22,140 N° 1 y 149 N°2 del Código de Aguas); (b) un caudal o cantidad de agua también determinada (artículos 7°, 140 N° 2 y 149 N°3 de la citada codificación) y (c) un punto o lugar preciso de extracción del recurso hídrico consuntivo (artículos 14, 140 N° 3 y 149 N°s 4 y 5).

En estas condiciones, el titular de un derecho de aprovechamiento de aguas sólo puede extraer el recurso hídrico (bien público) de la fuente natural en la que se le constituyó el derecho real (por ejemplo río Tinguiririca o al acuífero Pan de Azúcar), en la cantidad expresada en medidas métricas y de tiempo (vgr. 14 litros por segundo), que señale el acto administrativo de constitución originaria, y en el lugar preciso fijado por coordenadas geográficas o puntos de referencia (UTM N: 6.191.670 (m) y E: 250.619 (m) o N: a 54 metros del puente El Tablón y E: A 75 metros del cerro Blanco)

Enseguida, la extracción de aguas sin título o de una fuente natural distinta a la autorizada, en una cantidad mayor a la expresada en el acto de constitución del derecho de aprovechamiento y la captación o toma de un lugar o punto diverso del establecido en el título, importan saques de aguas ilegales que dan lugar a la aplicación de multas al infractor por los tribunales ordinarios (artículos 173, 175 y 299 letra c) del Código de Aguas), sin perjuicio que tales conductas puedan tipificar el delito de usurpación de aguas, previsto y sancionado en los artículos 459 y 461 del Código Penal.

1.1.4 Características del Derecho de Aprovechamiento de Aguas

a) Es un derecho real, ello significa que una vez otorgado, el titular no puede ser privado por la vía administrativa, esto es, no puede ser dejado sin efecto por la propia Administración. En efecto, como derecho real, se encuentra sometido al derecho privado, ello significa a las reglas del Código Civil. Por tanto, el dominio de su titular sólo puede extinguirse por expropiación por causa de utilidad pública.

b) Es un derecho perpetuo pues se otorga por toda la vida de su titular, a su fallecimiento pasa a sus herederos.

c) Es un derecho principal o autónomo, por cuanto no está jurídicamente vinculado al predio o industria a que están destinadas las aguas. Así, el derecho de aprovechamiento de aguas puede ser hipotecado independiente del inmueble a que está destinado (artículo 110 del Código de Aguas) Si se enajena un inmueble sin hacer mención al derecho de aprovechamiento de aguas, se entiende que la venta no lo comprende (artículo 317 del Código del Ramo).

d) Es de dominio de su titular, quien en su calidad de dueño puede usar, gozar y disponer de él en conformidad a la ley (artículo 6° inciso 2°).

1.1.5 Adquisición del Derecho de Aprovechamiento de Aguas por Acto de Autoridad

Por regla general, el derecho real de aprovechamiento de aguas se adquiere por el modo de adquirir denominado acto originario de autoridad que se materializa en una resolución del Director General de Aguas o de los Directores Regionales, a quienes se les haya delegado dicha facultad.

Dicho modo se encuentra consagrado en el artículo 20 inciso 1°, del Código de Aguas, que dispone que "El derecho de aprovechamiento se constituye originariamente por acto de autoridad".

Por su parte, el artículo 141 inciso final de la citada codificación estatuye, que el derecho real se constituirá "(...) mediante resolución de la Dirección General de Aguas (...)". A su turno, el artículo 147 bis inciso 1°, previene en lo que nos interesa: "El derecho de aprovechamiento de aguas se constituirá mediante resolución de la Dirección General de Aguas (...)".

El artículo 150 inciso 1° de la mencionada recopilación de leyes prescribe que la resolución que otorgue el derecho se reducirá a escritura pública que suscribirán el interesado y el funcionario que se designe al efecto y una copia de ella deberá

inscribirse en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces competente.

Cabe agregar, que el derecho de aprovechamiento también se puede adquirir de modo derivativo, por ejemplo venta, permuta, donación etc.

1.1.6 Procedimiento Administrativo para adquirir el Derecho de Aprovechamiento de Aguas por Acto de Autoridad

El artículo 60 del Código de Aguas dispone que, comprobada la existencia de aguas subterráneas, el interesado podrá solicitar el otorgamiento del derecho de aprovechamiento respectivo, el que se constituirá de acuerdo al procedimiento que establecido en el Título I del Libro II de dicha codificación.

El mencionado procedimiento administrativo especial se encuentra reglado minuciosamente y establece todos los trámites a que deben sujetarse las solicitudes para adquirir el derecho de aprovechamiento de aguas por acto de autoridad.

En la preceptiva contenida en los artículos 140 y siguientes del Código del Ramo se establecen las diversas etapas que integran el proceso, entre ellas, su inicio, la publicación y radiodifusión de la solicitud, la forma de oponerse los terceros afectados, las diligencias que de oficio o a petición de parte puede decretar la Dirección General de Aguas, la emisión de informes técnicos, la resolución terminal del asunto sometido a su decisión y los recursos administrativos y judiciales que proceden en su contra (dictamen N° 48.940, de 29 de septiembre de 2004, de Contraloría General de la República).

La doctrina nos dice que el procedimiento administrativo es un conjunto de trámites que debe cumplir la Administración, para dictar en definitiva un acto administrativo terminal.

Es útil destacar que al procedimiento administrativo especial que contempla el Código de Aguas, le son aplicables supletoriamente las disposiciones contenidas

en Ley N° 19.880, que estableció las Bases de los Procedimientos Administrativos que rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado.

En efecto, el artículo 1° inciso 1° de la citada ley de bases, previene que en caso de que la ley establezca procedimientos administrativos especiales, su normativa se aplicará con carácter supletorio, esto es, rige respecto de aquellas materias que carecen de regulación.

1.1.7 Medidas de Limitación a la Explotación de las Aguas Subterráneas

Actualmente, debido a la explosión demográfica, los adelantos tecnológicos y la creciente necesidad de aguas para diversos usos, la demanda de agua va en aumento. Y si a ello principal le sumamos que, según nos indica el ciclo hidrológico, la cantidad de aguas es constante y no varía básicamente, deducimos que resulta cada vez más importante su uso en todas las formas que encuentra.

Tal es así que su escasez e importancia no se aprecia ya solamente en las regiones áridas sino también en las zonas húmedas.

Los acuíferos aportan agua para beber a casi un tercio de la población mundial, en Asia más de mil millones de personas dependen de las aguas subterráneas para beber y se estima que el 65% del agua suministrada por la red pública de abastecimiento de Europa procede de fuentes subterráneas. Las aguas subterráneas constituyen la principal fuente de abastecimiento de varios países como Dinamarca, Eslovenia e Islandia. En Estados Unidos el 50% del agua potable del país viene de agua subterránea y el 75% de sus ciudades obtienen todo o parte de su agua de las fuentes subterráneas. En Chile mayoritariamente el agua destinada al consumo humano en la Región del Maule proviene de acuíferos subterráneos.

Precisado lo anterior, cabe agregar que dada la especial naturaleza de las aguas subterráneas, su particular rol que representa como reserva de recursos hídricos es que la ley ha conferido atribuciones o facultades, en determinadas situaciones,

a la Dirección General de Aguas, para que pueda decretar medidas que limitan al explotación de aguas subterráneas con las finalidades de proteger el acuífero de la sobreexplotación y la contaminación.

Las referidas medidas que puede decretar la autoridad pública se encuentran regladas en el Código de Aguas, y en la Resolución DGA N° 425 de 31 de diciembre de 2007, publicada en el Diario Oficial de la República, con fecha 16 de abril de 2008, data en que comenzó a regir.

Dichas medidas que limitan la explotación son tres, a saber, la reducción temporal de la explotación de aguas subterráneas, la zona de prohibición y el área de restricción.

Para los fines del análisis legal que contiene el presente informe sólo nos ocuparemos de manera sucinta de las zonas de prohibición, y de un modo más detallado y exhaustivo de las áreas de restricción.

1.1.8 Las Zonas de Prohibición

Las zonas de prohibición se encuentran reguladas en los artículos 63 y 64 del Código de Aguas, y por el artículo 33 de la Resolución DGA N° 425, de 2007, que estableció Normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas.

Según lo estatuye el artículo 63 inciso 1° del Código de Aguas, la Dirección General de Aguas puede declarar zonas de prohibición para nuevas explotaciones mediante resolución fundada en la protección del acuífero, la cual debe ser publicada en el Diario Oficial de la República.

Se trata de una potestad privativa de dicha repartición pública, la que sólo puede ejercerse motu proprio, esto es, de oficio.

La finalidad de la declaración de zonas de prohibición es la protección del acuífero, y por esa razón a la Dirección General de Aguas le está vedado

constituir originariamente nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector hidrogeológico comprendido en la declaración.

De acuerdo con lo establecido en el artículo 36 de la Resolución DGA N° 425, de 2007, dicho servicio público, puede (facultativo) declarar estas zonas de prohibición, entre otras cosas, por agotamiento del acuífero por sobreexplotación o perjuicios de derechos de aprovechamiento legalmente constituidos en dichas zonas, y por contaminación del acuífero.

La declaración se materializa en una resolución exenta que expide el Director General de Aguas y que debe publicarse por una sola vez en el Diario Oficial de la República los días 1° ó 15 de cada mes, o al día siguiente, si fuere inhábil (artículo 48 inciso1° de la Ley N° 19.880).

El acto administrativo en comento no se encuentra sometido al trámite de toma de razón por Contraloría General de la República.

El efecto jurídico natural de la declaración de zona de prohibición, es que la Dirección General de Aguas no puede constituir por acto de autoridad derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector hidrogeológico comprendido en dicha declaración. De manera que si un interesado formula una solicitud en tal sentido, está obligada a denegarla por ser legalmente improcedente (artículo 63 inciso 1° en relación con el artículo 141 inciso final, ambos del Código de Aguas).

De conformidad con el inciso 2° del artículo 63, otro efecto de la declaración de de zona de prohibición es que puede dar origen a una Comunidad de Aguas, que estará formada por todos los usuarios de aguas subterráneas comprendidos en ella.

Se debe tener presente que la formación de la Comunidad de Aguas Subterráneas sólo tendrá lugar en el caso de que existan dos o más titulares de derechos de

aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector hidrogeológico comprendido en el área de restricción (artículo 186 inciso 1° del Código de Aguas).

Es útil hacer presente que con arreglo a lo prevenido por el artículo 64 del Código de Aguas, la zona de prohibición, puede ser dejada sin efecto por la Dirección General de Aguas, si nuevas investigaciones o la recarga artificial del acuífero así lo aconsejan.

El citado artículo 64 es la primera disposición del Código de Aguas, siguiendo el orden numérico de sus preceptos, que menciona la recarga artificial de acuíferos, como un factor a considerar para alzar dicha medida de limitación a la explotación.

Sin embargo, no establece regulación alguna a su respecto, como por ejemplo si hay que pedir la autorización previa de algún ente público para ejecutarla o cumplir ciertos requisitos de carácter técnico para ejecutar las obras destinadas a infiltrar, por ejemplo.

1.1.9 Las Áreas de Restricción

Las áreas de restricción se encuentran reguladas en los artículos 65, 66, 67 y 68 del Código de Aguas, y por los artículos 31, 32 y 33 de la Resolución DGA N° 425, de 2007, que estableció Normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas.

Se deja constancia que por Resolución DGA N° 381, de 15 de noviembre de 2005, publicada en el Diario Oficial de 2 de enero de 2006, se declaró área de restricción el sector hidrogeológico de aprovechamiento común Estero Las Cadenas-Marchigüe. Dicho acto formal se modificó por Resolución DGA N°200, de 26 de septiembre de 2011, publicada en el Diario Oficial de 15 de noviembre de 2011.

El artículo 65 inciso 1°, define las áreas de restricción como "(...) aquellos sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en lo que exista el riesgo de

grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de los derechos de terceros ya establecidos en él".

Los objetivos de las áreas de restricción son proteger los acuíferos de la sobreexplotación y a los derechos de aprovechamiento de terceros constituidos en él, impidiendo nuevas explotaciones perpetuas de aguas subterráneas en el sector hidrogeológico comprendido en la declaración.

La declaración de áreas de restricción debe efectuarla la Dirección General de Aguas, de oficio o a petición de cualquier usuario del sector respectivo, cuando los estudios técnicos que demuestren que la explotación previsible del acuífero puede ocasionar algunos de los efectos que señala el artículo 31 de la Resolución DGA N° 425, de 2007.

La declaración se materializa en una resolución exenta que expide el Director General de Aguas y que debe publicarse por una sola vez en el Diario Oficial de la República (artículo 31 inciso final de la Resolución DGA N°425, de 2007)

El acto administrativo en comento no se encuentra sometido al trámite de toma de razón por Contraloría General de la República, y su publicación debe efectuarse los días 1° ó 15 de cada mes, o al día siguiente, si fuere inhábil (artículo 48 inciso 1° de la Ley N° 19.880).

El efecto de la declaración de zona restricción, es que la Dirección General de Aguas sólo puede otorgar en el sector hidrogeológico comprendido en dicha declaración, en forma prudencial, derechos de aprovechamiento de carácter provisional. Aún más, puede dejarlos sin efecto, si constata perjuicio a los derechos de aprovechamiento de aguas ya constituidos en el sector (artículo 66 inciso 1°).

Como puede advertirse, el derecho de aprovechamiento provisional que se puede otorgar en la zona de restricción tiene la naturaleza jurídica de una concesión administrativa, pues el Director General de Aguas puede extinguirla, esto es

dejarla sin efecto. Se recordará, que el derecho de aprovechamiento propiamente tal es perpetuo o definitivo, y tiene la naturaleza de un derecho real porque la referida autoridad pública no puede revocarlo.

Por otra parte, habida cuenta su naturaleza jurídica, los derechos de aprovechamiento provisionales de aguas subterráneas no pueden inscribirse en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces respectivo, según lo ha dictaminado la Jurisprudencia Administrativa de Contraloría General de la República (Dictámenes N°s 19.545 de 2005 y 25.334 de 2008), como acontece con los derechos de aprovechamiento perpetuos o definitivos (artículo 150 del Código de Aguas)

Los referidos derechos provisionales deben anotarse en un registro administrativo especial que debe llevar la Dirección General de Aguas (artículo 32 inciso final de la Resolución DGA N° 425, de 2007).

Otro efecto de la declaración de zona de restricción es que puede dar lugar origen a una Comunidad de Aguas, que estará formada por todos los usuarios de aguas subterráneas comprendidos en el área respectiva (artículo 65 inciso final).

La formación de la Comunidad de Aguas Subterráneas tendrá lugar en el caso de que existan dos o más titulares de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector hidrogeológico comprendido en el área de restricción (artículo 186 inciso 1° del Código de Aguas).

Es dable destacar que los derechos de aprovechamiento provisionales de aguas subterráneas pueden transformarse en definitivos o perpetuos una vez transcurridos 5 años de ejercicio efectivo en los términos concedidos y siempre que los titulares de derechos ya constituidos no demuestren haber sufrido perjuicios (artículo 67 inciso 1°, primera parte).

Esta transformación a derecho definitivo o perpetuo ocurre también cuando el dueño de los derechos provisionales hace obras de recarga artificial que

incorporen un caudal equivalente o superior a la extracción que efectúe (artículo 67 inciso 1°, segunda parte).

La solicitud para que se transforme en definitivo o perpetuo el derecho provisional, debe tramitarse conforme al procedimiento administrativo que contempla el Código de Aguas, en su artículo 130 y siguientes, la petición debe publicarse, difundirse por radio, los terceros que se sientan afectados pueden oponerse, etc.

Como puede advertirse, el artículo 67 inciso 1°, segunda parte del Código de Aguas de 1981, también se hizo mención a las "obras de recarga artificial" de acuíferos, a propósito de la transformación de los derechos provisionales de aguas subterráneas otorgados en áreas de restricción.

En efecto, dicho precepto legal permitía transformar en definitivos o perpetuos los derechos provisionales de aguas subterráneas constituidos sobre acuíferos recargados artificialmente.

Como puede advertirse, para hacer la recarga artificial de acuíferos era requisito habilitante la existencia de un área de restricción declarada previamente por la Dirección General de Aguas.

De guisa, el Código de Aguas de 1981, regulaba también la recarga artificial de acuíferos para el sólo efecto de transformar derechos provisionales en definitivos o perpetuos. Siendo, requisito sine qua non para efectuar la recarga artificial, la existencia de una zona de restricción.

En suma, aparte del artículo 64 que se refiere al alzamiento de la zona de prohibición, el artículo 67 inciso 1°, segunda parte, o sea, a continuación del punto seguido, no existía disposición legal alguna en dicha codificación relativa a la recarga artificial de acuíferos.

Lo dicho debe entenderse de lo dispuesto en el artículo 65 inciso 1°, que sin mencionar la recarga artificial de acuíferos, hace aplicable a las áreas de

restricción lo dispuesto en artículo 64, relativo a dejar sin efecto las zonas de prohibición.

Esa situación cambia con la dictación de la Ley N° 20.017, de 16 de junio de 2005, la cual entró a reglamentar aunque de una manera incipiente e insuficiente, el instrumento de la recarga artificial de acuíferos.

1.1.10 La Ley N° 20.017 y la Recarga Artificial de Acuíferos

Como se ha indicado, la Ley N° 20.017, que rige desde el 16 de junio de 2005, introdujo importantes reformas al Código de Aguas de 1981, así por ejemplo, dotó de mayores atribuciones a la Dirección General de Aguas, estableció el pago de una patente por el no uso de las aguas, privilegió el mecanismo del remate para la asignación del derecho de aprovechamiento, etc.

Ahora bien, en lo que interesa a este estudio, reguló aunque de una manera muy incipiente el mecanismo de la recarga artificial de acuíferos, así por ejemplo estableció que era necesario una autorización de un ente estatal para efectuar la recarga artificial, que para obtener dicho permiso era menester someterse a un procedimiento administrativo de carácter público y eventualmente contencioso y otorgó al que efectuó la infiltración una preferencia para obtener un derecho provisional que subsistirá mientras se mantenga la recarga artificial.

En primer término el artículo 1°, N° 8 de la Ley N° 20.017, incorporó un inciso 2° al artículo 66 del Código de Aguas.

En este orden de materias, cabe destacar que tomando en consideración un Informe sobre Aguas Subterráneas de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica que, refiriéndose a la recarga artificial de acuíferos como una alternativa muy atractiva de considerar para aportar soluciones a los problemas de disponibilidad de recursos de aguas subterráneas y al mejor aprovechamiento de los recursos hídricos en general, el Ejecutivo propuso incorporar al Código de

Aguas una normativa que incentivara el empleo de técnicas de recarga artificial de acuíferos.

La proposición consistía en el uso de las técnicas de recarga de acuíferos más allá de aquellos sistemas acuíferos declarados áreas de restricción, de manera de favorecer directamente a los usuarios que efectúen las referidas inversiones, en caso de ser privadas, o bien, a aquellos peticionarios que no hayan obtenido derechos de aprovechamiento por falta de recursos, en caso de que el Estado construya y opere este tipo de obras.

Los representantes del Poder Ejecutivo[2] al discutirse la norma manifestaron que la enmienda plantea la posibilidad de recargar artificialmente los acuíferos y que quien está haciendo la recarga tenga la preferencia para que se le constituya el derecho provisional, sin necesidad de que anteriormente se haya declarado un área de restricción. Es decir, no constituye un requisito previo el que exista un área de restricción para que se pueda hacer recarga de acuíferos.

Por tanto, se pueden constituir derechos provisionales, además de las áreas de restricción, en aquellos lugares donde se haga recarga artificial.

El nuevo inciso 2° del artículo 66 aprobado dispone que: "Sin perjuicio de lo establecido en el inciso primero del artículo 67, y no siendo necesario que anteriormente se haya declarado área de restricción, previa autorización de la Dirección General de Aguas, cualquier persona podrá ejecutar recarga artificial de acuíferos, teniendo por ello la preferencia para que se le constituya un derecho de aprovechamiento provisional sobre las aguas subterráneas derivadas de tales obras y mientras ellas se mantengan" (sic)

Ahora bien, según se aparece del tenor literal del nuevo inciso 2° del artículo 66 del Código de Aguas, cualquier persona natural o jurídica sin necesidad que

[2] Compilación de Textos Oficiales del Debate Parlamentario. Historia de la Ley 20.017.Biblioteca del Congreso Nacional.Santiago,2005,V.4,pág.2012

exista un área de restricción declarada por la Dirección General de Aguas, puede ejecutar obras para la recarga artificial de acuíferos.

Enseguida, el interesado debe previamente a ejecutar las obras obtener la autorización de la referida entidad pública.

Por último, efectuada la recarga artificial se le otorga al interesado el derecho preferente para la constitución de un derecho de aprovechamiento provisional sobre las aguas subterráneas derivadas de las obras de recarga, derecho que dura mientras la recarga artificial se mantenga.

Puntualizado lo anterior, es dable señalar que en segundo término el artículo 1°, N° 9 de la Ley N° 20.017, modificó el inciso 1° segunda parte o punto seguido del artículo 67 del Código de Aguas.

Como hemos visto[3] el artículo 67 inciso 1°, primera parte disponía que "Los derechos de aprovechamiento otorgados de acuerdo con el artículo anterior, se podrán transformar en definitivos una vez transcurridos cinco años de ejercicio efectivo en los términos concedidos, y siempre que los titulares de derechos ya constituidos no demuestre haber sufrido daño."

El mencionado inciso 1°, agregaba a continuación del punto seguido o de su segunda parte que "(...) Lo mismo ocurrirá cuando el dueño de los derechos provisionales ejecute obras de recarga artificial que incorporen un caudal equivalente o superior a la extracción que efectúe".

Ahora bien, durante la tramitación del proyecto de ley en comento, el Presidente de la República, introdujo la indicación N° 234, que tuvo por finalidad sustituir en el inciso 1° segunda parte del artículo 67, recién reproducido textualmente por el siguiente: "Lo anterior no será aplicable en el caso del inciso segundo del artículo

[3] Ver N° 8, párrafos catorce y quince del presente informe.

66, situación en la cual subsistirán los derechos provisionales mientras persista la recarga artificial" (sic).

En la discusión de esta indicación, se recordó que el artículo 65 regula las áreas de restricción, el artículo 66 establece que se pueden constituir derechos provisionales en las áreas de restricción y este artículo 67 se refiere a cómo esos derechos provisionales pueden pasar a ser definitivos o perpetuos.

La indicación propuesta tuvo por finalidad concordar esta nueva norma, con la aprobada anteriormente, esto es, el inciso segundo del artículo 66, para lo cual se reiteraron los fundamentos señalados para modificar el artículo anterior, relativos a la recarga artificial de acuíferos.

En definitiva, la modificación al inciso 1°, segunda parte del artículo 67 del Código de Aguas de 1981, representó un cambio radical con lo establecido en el texto reformado. La disposición legal originaria permitía transformar en definitivos o perpetuos los derechos provisionales sobre acuíferos recargados artificialmente, en cambio ahora esos derechos son siempre provisionales, y el derecho subsiste bajo la condición resolutoria de que se mantenga la recarga artificial.

Con esta modificación se elimina entonces la posibilidad que antes existía de transformarlos en definitivos o perpetuos, con una sola recarga artificial, defraudando la ley y además, sin hacer más obras ocasionando de esta forma, el colapso de los derechos ya constituidos por falta de recursos hídricos suficientes.

1.1.11 La Resolución DGA N° 425, De 31 de Diciembre de 2007 y la Recarga Artificial de Acuíferos

Como se ha precisado, los artículos 58 inciso 1° y 59 del Código de Aguas, dispusieron que la exploración y la explotación de aguas subterráneas debe efectuarse con forma a normas generales previamente establecidas por la Dirección General de Aguas.

Hoy en día dichas normas generales están contenidas en la Resolución DGA N° 425, de 2007, la que dejó sin efecto la resolución anterior que regía la materia, habida cuenta "(...) la necesidad urgente (...) de (...) adecuar y perfeccionar las normas que en ella se contienen, a la actual legislación (...)", esto es, la Ley N° 20.017, que entre otras cuestiones, regló la ejecución de obras para la recarga artificial de acuíferos.

Sobre el particular el artículo 34 de la Resolución DGA N° 425, de 2007, dispone que "(...) quienes deseen ejecutar obras de recarga artificial de acuíferos, deberán entregar una Memoria Técnica que contenga, a lo menos, lo siguiente:"

- Descripción del sistema de recarga artificial
- Descripción de la naturaleza física y situación jurídica del agua a utilizar en la recarga artificial
- Descripción del sitio de recarga
- Características geológicas e hidrogeológicas del sector
- Características de la zona no saturada
- Características del acuífero
- Velocidad y dirección de flujo
- Comportamiento histórico de los niveles de agua en el sector
- Calidad de agua
- Impactos asociados a la obra de recarga artificial, área de influencia de la recarga artificial, impactos calculados, análisis de domo e impacto sobre la calidad del aguas.

Los interesados, también deben acompañar un Plan de Monitoreo que contemple al menos:

- Monitoreo del nivel de las aguas

- Monitoreo de la calidad de las aguas
- Control del caudal de recarga
- Control de extracciones

Además, deberán adjuntar a su solicitud un Plan de Contingencia, el que contendrá, a lo menos:

- Medidas de protección del acuífero
- Planes de alerta ante impactos no deseados

1.1.12 La Dirección General de Aguas

La Dirección General de Aguas es un servicio público dependiente del Ministerio de Obras Públicas. El Jefe Superior de dicha entidad pública se denomina Director General de Aguas y es funcionario de la exclusiva confianza del Presidente de la República (artículo 298 del Código de Aguas).

Acorde con lo dispuesto en los artículos 6° y 7°, de la Constitución Política de la República, y en artículos 1° inciso final y 2° de la Ley N° 18.575, Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado, la referida Repartición debe someter su acción a la Constitución y a las leyes. Asimismo, debe actuar dentro de su competencia y no tiene más atribuciones que las que expresamente le ha conferido el ordenamiento jurídico.

Pues bien, entre las atribuciones y funciones que el Código de Aguas le confiere a la Dirección General de Aguas está la de autorizar la ejecución de obras para la recarga artificial de acuíferos, y la de constituir originariamente por acto de autoridad derechos de aprovechamiento provisionales sobre las aguas derivadas de las obras de recarga (artículo 66 inciso 2°).

1.1.13 Procedimiento Administrativo Común o General de La Dirección General de Aguas.

Según lo dispuesto el artículo 66 inciso 2° del Código de Aguas, compete a la Dirección General de Aguas autorizar la ejecución de obras para la recarga artificial de acuíferos, y constituir los derechos de aprovechamiento provisionales sobre las aguas derivadas de las obras de recarga.

Cualquier interesado en obtener la autorización para ejecutar obras para la recarga artificial de acuíferos debe presentar un solicitud, la que se sujetará al procedimiento establecido en el párrafo 1° del Título I, del Libro Segundo del Código de Aguas (artículo 130 de dicha codificación)

Resulta útil consignar, que el citado procedimiento administrativo se aplica también a las solicitudes para adquirir el derecho de aprovechamiento provisional sobre las aguas subterráneas derivadas de las obras de recarga.

El mencionado procedimiento administrativo común o general se encuentra reglado minuciosamente en el párrafo señalado, y establece todos los trámites a que deben sujetarse las solicitudes que formulen los interesados sobre las materias señaladas.

En la preceptiva contenida en los artículos 130 y siguientes del Código del Ramo, se establecen las diversas etapas que integran el proceso, entre ellas, su inicio, la publicación y radiodifusión de la solicitud, la forma de oponerse los terceros afectados, las diligencias que de oficio o a petición de parte puede decretar la Dirección General de Aguas, la emisión de informes técnicos, la resolución terminal del asunto sometido a su decisión y los recursos administrativos y judiciales que proceden en su contra.

Cabe destacar que al procedimiento administrativo común o general que contempla el Código de Aguas, le son aplicables supletoriamente las disposiciones contenidas en la mencionada Ley N° 19.880, que estableció las Bases de los

Procedimientos Administrativos que rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado.

En efecto, el artículo 1° inciso 1° de la citada ley de bases, previene que en caso de que la ley establezca procedimientos administrativos especiales, su normativa se aplicará con carácter supletorio, esto es, rige respecto de aquellas materias que carecen de regulación.

Para una mayor ilustración se expone en forma breve y sumaria el desarrollo de procedimiento administrativo común o general aplicable a las solicitudes para obtener de la Dirección General de Aguas la autorización para ejecutar obras de recarga artificial de acuíferos, y para adquirir los derechos de aprovechamiento provisionales sobre las aguas derivadas de las obras de recarga.

La solicitud respectiva debe presentarse ante la Oficina de la Dirección General de Aguas del lugar, y en el evento que no hubiere dependencia de dicho servicio, ante el Gobernador Provincial respectivo.

Enseguida, la petición debe publicarse y comunicarse por radio, a costa del interesado, en la forma y dentro de los plazos que establece el Código de Aguas.

Los terceros que se sientan afectados por la petición publicada, pueden oponerse dentro del plazo de 30 días contados desde la última publicación. Si existe oposición debe ser comunicada al interesado para que responda en el plazo que señala la ley.

En el evento que se deduzca oposición, la Dirección General Aguas debe pronunciarse sobre ella dictando una resolución al efecto. El mencionado acto trámite es impugnable por el recurso administrativo de reconsideración, y por el recurso jurisdiccional de reclamación, el primero debe interponerse ante el Director General de Aguas, y el segundo, ante la Corte de Apelaciones de Santiago (artículos 136 y 137).

Por su parte, durante la secuela del procedimiento, el artículo 134 inciso 1º, faculta a la Dirección General Aguas para que por resolución fundada, solicite aclaraciones, decrete inspecciones oculares y pida informes para mejor resolver. Las medidas que determine a través del acto trámite referido, también son impugnables en la forma indicada ante el Jefe del Servicio y la Corte de Apelaciones del lugar donde se dictó la resolución (artículos 136 y 137)

Si dicha Repartición estima necesario practicar inspección ocular, debe dictar una resolución para ese efecto, y además fijar la suma de dinero que el interesado debe consignar para cubrir los gastos de ese diligencia (artículo 135 inciso 2º) Este acto trámite, es recurrible en la forma ya señalada en los citados artículos 136 y 137.

Una vez reunidos todos los antecedentes pedidos, la Dirección General Aguas debe emitir un informe técnico y dictar resolución fundada que dirima la cuestión sometida a su consideración (artículo 134 inciso 2º).

Este acto terminal que pone fin al procedimiento administrativo común o general, y que debe pronunciarse sobre la solicitud de autorización para ejecutar obras de recarga artificial de acuíferos, y para adquirir los derechos de aprovechamiento provisionales sobre las aguas derivadas de las obras de recarga, puede ser también reconsiderado o reclamado por el interesado (artículos 136 y 137).

1.1.14 Conclusiones del Análisis Legal

1° La recarga artificial del acuífero Marchigüe-Las Cadenas se encuentra regulada por los artículos 66 inciso 2° y 67 inciso, segunda parte o punto seguido, ambos del Código de Aguas y por el artículo 34 de la Resolución DGA N° 425, de 31 de diciembre de 2007, que estableció Normas sobre Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas.

2° La solicitud de autorización para ejecutar las obras de recarga artificial del acuífero Marchigüe-Las Cadenas deberá presentarse en la Gobernación Provincial de Cardenal Caro

3° Debe acompañarse a la solicitud una Memoria Técnica, un Plan de Monitoreo y un Plan de Contingencia, que deben contener a lo menos, los antecedentes o datos que establece el artículo 34 de la Resolución DGA N° 425, de 31 de diciembre de 2007

4° La tramitación de la solicitud se sujetará al procedimiento administrativo establecido en el párrafo 1° del Título I del Libro II del Código de Aguas y en lo no previsto se aplicarán supletoriamente las disposiciones del procedimiento administrativo reglado en la Ley N° 19.880.

5° La petición debe publicarse íntegramente o en extracto, dentro del plazo de 30 hábiles días contados desde su fecha de recepción en la Gobernación Provincial de Cardenal Caro o de Colchagua, según corresponda. Por una sola vez en el Diario Oficial los días 1° o 15 de cada mes o el primer día hábil inmediato si aquéllos fueren feriados, y en forma destacada en un diario de Santiago. Además, en un diario o periódico de la provincia de Cardenal Caro o de la provincia de Colchagua, según corresponda, y si no lo hubiere en uno de la ciudad de Rancagua

6° Además, la petición o extracto, debe comunicarse por medio de 3 mensajes radiales, dentro del plazo de 30 días hábiles indicados precedentemente, computados en igual forma. Las emisoras donde deben difundirse los mensajes aludidos, los horarios y días en que deben emitirse, su contenido y la forma se acreditar su cumplimiento, están determinadas por la Resolución DGA N° 3.464, de 15 de diciembre de 2008.

7° Los terceros que se sientan afectados por la solicitud de autorización para ejecutar las obras de recarga artificial del acuífero Marchigüe-Las Cadenas pueden oponerse dentro del plazo de 30 días hábiles contados desde la fecha de

la última publicación. Recibida la oposición la autoridad la remitirá al solicitante, para que este responda en el plazo de 15 días hábiles.

8° Son inhábiles los días sábados, domingos y festivos, razón por la cual no se consideran para el cómputo de los plazos que establece el procedimiento administrativo.

9° Si no se deduce oposición se continúa con la tramitación ordinaria, en la forma que se indica supra. En el evento que se haya interpuesto oposición, la Dirección General de Aguas, debe emitir un informe técnico y dictar una resolución fundada que dirima la cuestión sometida a su consideración. Cualquiera que sea la decisión que adopte, ya sea que acoja o rechace la oposición, la resolución que dicte puede ser impugnada por el recurso administrativo de reconsideración o por el recurso judicial de reclamación.

10° El recurso de reconsideración debe interponerse ante el Director General de Aguas, dentro del plazo de 30 días hábiles, constados desde la notificación de la resolución respectiva.

11° El recurso de reclamación debe deducirse ante la Corte de Apelaciones de Santiago dentro del plazo de 30 días corridos contado desde su notificación o de la notificación de la resolución que recaiga en el recurso de reconsideración, según corresponda. En el cómputo del término indicado se cuentan los días sábados, domingos y festivos.

12° Si no hubiere oposiciones, la Dirección General de Aguas podrá (es facultativo, no está obligada), mediante resolución fundada, solicitar las aclaraciones, decretar las inspecciones oculares y pedir los informes correspondientes para mejor resolver. Si estima necesario practicar una inspección ocular, determinará la suma de dinero que el interesado debe consignar para cubrir los gastos de esta diligencia.

13° Una vez recibidos los antecedentes pedidos, la Dirección General de Aguas, deberá (imperativo, está obligada) emitir un informe técnico y dictará una resolución pronunciándose acerca de la autorización para ejecutar las obras de recarga artificial del acuífero Marchigüe-Las Cadenas. Cualquiera que sea el contenido de esa decisión, ella es susceptible de ser impugnada en sede administrativa o en sede judicial, por la interposición de la reconsideración y/o la reclamación en la forma ya indicada.

14° La autorización de la Dirección General de Aguas para autorización para ejecutar las obras de recarga artificial del acuífero Marchigüe-Las Cadenas se materializa con la dictación de una resolución exenta del Director General de Aguas, o sea, que no se encuentra sujeta al trámite de toma de razón por Contraloría de la República.

15° La persona natural o jurídica que efectúe las obras de recarga artificial del acuífero Marchigüe-Las Cadenas tiene preferencia para que la Dirección General de Aguas le constituya un derecho de aprovechamiento de aguas provisional sobre las aguas subterráneas derivadas de tales obras.

16° Lo anterior significa que si existen pendientes por resolver innúmeras solicitudes para adquirir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas provisionales en el acuífero Marchigüe-Las Cadenas, que está declarado en zona de restricción, la petición la persona que efectuó la recarga artificial de dicho sector hidrogeológico, debe ser resuelta por la Dirección General de Aguas con antelación a los mencionados requerimientos, aun cuando ellos se hubieren presentado en fechas muy precedentes.

17° Para adquirir los derechos provisionales la persona natural o jurídica que efectuó las obras de recarga artificial del acuífero Marchigüe-Las Cadenas deberá presentar la correspondiente solicitud la debe sujetarse al procedimiento administrativo establecido en el párrafo 1° del Título I del Libro II del Código de Aguas y en lo no previsto se aplicarán supletoriamente las disposiciones del procedimiento administrativo reglado en la Ley N° 19.880.

18° En todo lo relativo a la tramitación de la solicitud, esto es, las etapas que integran dicho proceso, su inicio, la publicación y radiodifusión de la solicitud, la forma de oponerse los terceros afectados, las diligencias que de oficio o a petición de parte puede decretar la Dirección General de Aguas, la emisión de informes técnicos, la resolución terminal del asunto sometido a su decisión y los recursos administrativos y judiciales que proceden en su contra, se da por reproducido lo que se expresó a propósito de la petición de autorización para ejecutar las obras de recarga artificial del acuífero Marchigüe-Las Cadenas

19° La constitución originaria de los derechos provisionales de aguas subterráneas derivados de las obras de recarga del acuífero Marchigüe-Las Cadenas, se materializa en una resolución exenta del Director General de Aguas.

20° Los derechos provisionales así constituidos se encuentran sujetos a una condición resolutoria, esto es, subsisten mientras la recarga artificial del acuífero se mantenga.

21° Estos derechos provisionales no pueden transformarse en definitivos o perpetuos, lo que no acontece con otros derechos provisionales que se otorguen en el acuífero Marchigüe-Las Cadenas, cuyo origen no son las aguas subterráneas derivadas de las obras de recarga, los que sí pueden mutar si han transcurrido 5 años de ejercicio efectivo y se demuestra que no se ha ocasionado perjuicio a nadie, habida cuenta que el sector hidrogeológico está declarado zona de restricción.

22° Los derechos provisionales constituidos por la Dirección General de Aguas sobre aguas subterráneas derivadas de las obras de recarga del acuífero Marchigüe–Las Cadenas, no pueden ser inscritos en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Santa Cruz.

1.2 Análisis Legal de los Derechos de Aprovechamiento

1.2.1 Introducción

De conformidad con el régimen legal de aguas existente en nuestro país, cualquier persona puede ejecutar obras para la recarga artificial de acuíferos. Para ello requiere previa autorización de la Dirección General de Aguas y efectuada la recarga se le otorga preferencia para la constitución de un derecho de aprovechamiento provisional sobre las aguas subterráneas derivadas de la recarga.

Ahora bien para obtener la autorización de dicho servicio público, el interesado debe formular una solicitud en tal sentido, la que sujetará en su tramitación a lo que dispone el Código de Aguas, y la Resolución DGA N° 425, de 31 de diciembre de 2007, que estableció Normas sobre Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas.

Enseguida, el artículo 34 de la citada la Resolución DGA N° 425, de 2007, dispone que el interesado en ejecutar obras de recarga artificial de acuíferos, debe adjuntar a su solicitud, entre otras cosas, una Memoria Técnica.

Por su parte, la letra b) del artículo 24, establece que la memoria técnica, a lo menos, debe contener, una descripción de la naturaleza física y de la situación jurídica del agua a utilizar en la recarga artificial.

Lo anterior implica que el uso del agua destinada a la recarga del acuífero Marchigüe-Las Cadenas, debe ser analizado en todos sus aspectos legales, poniendo énfasis en los derechos de aprovechamiento de aguas, por lo que los sitios identificados deben contar con disponibilidad de dichos derechos para la recarga y la autorización expresa del dueño para hacer uso de ellos.

Es dable destacar que en esta actividad se traducirá en uno o más informes en derecho respecto de la viabilidad legal de utilizar las aguas superficiales disponibles para la recarga artificial del acuífero Las Cadenas-Marchigüe.

Cabe destacar que, en principio, los derechos de aprovechamiento superficiales que utilizarán para la recarga artificial son los que pertenecen a algunos de los miembros de la Asociación de Canalistas Canal Población que extrae sus aguas del río Chimbarongo.

Los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales de los miembros de la organización de usuarios del Canal Población, datan del año 1916.

Se han efectuado diversas reuniones tanto con el administrador de la Asociación de Canalistas Canal Población, don Héctor Espinoza, y con la gerente de la Junta de Vigilancia del estero Chimbarongo, doña Graciela Correa, sin embargo, hasta esta data no se han obtenido los datos necesarios, tales como fojas, número, año del Registro respectivo para rastrear las inscripciones comunes y/o individuales de los derechos de aprovechamiento, en el Conservador de Bienes Raíces de Santa Cruz, funcionario que sería competente para practicar las inscripciones de los derechos reales que pertenecen a los asociados del canal Población. Esta actividad se desarrollará próximamente, quedando pendiente sus resultados para el informe de la Etapa II.

Es dable hacer presente que el Conservador de Bienes Raíces de Santa Cruz fue creado el año 1904.

El Registro de Aguas que deben llevar los Conservadores de Bienes Raíces, se creó en artículo 236 inciso 1° del Código de Aguas de 1951, aprobado por la Ley N° 9.909, publicada en el Diario Oficial de 28 de mayo de ese año.

Antes de ello, lo que existía era el Registro de Asociaciones de Canalistas, o Registro de Regadores, donde, entre otras cosas, debían inscribirse la constitución, transferencia y transmisión de dominio sobre los regadores, que se estableció en la Ley N° 2.139, de 9 de noviembre de 1908.

Cabe agregar que por Ley N° 7.421, publicada en el Diario Oficial de 9 de julio de 1943, se fijó el texto refundido de la Ley de Organización y Atribuciones de los

Tribunales, de 15 de octubre de 1875, y de todas las leyes que la modificaron o complementaron, aprobando el Código Orgánico de Tribunales.

El artículo 446 de dicha codificación actualmente vigente señala que: "Son conservadores los ministros de fe encargado de los registros conservatorios de bienes raíces, de comercio, de accionistas, de sociedades propiamente mineras, de asociaciones de canalistas (...)". No obstante, que este registro no existe desde el 1 de abril de 1951.

El único antecedente que se ha recopilado son los títulos constitutivos de la Asociación de Canalistas Canal Población, y en sus Estatutos aparecen los derechos de aprovechamiento que corresponde a los asociados que comparecieron a su constitución.

Los referidos documentos auténticos fueron otorgados por la Archivera del Registro Público de Organizaciones de Usuarios, que forma parte del Catastro Público de Aguas que lleva la Dirección General de Aguas.

Dicha funcionaria pública es la encargada y responsable de mantener al día y actualizada la información que rola en el citado Libro Registro Público.

Habida cuenta, la no existencia por ahora, de la información registral conservatoria relativa a los derechos de los miembros de la Asociación de Canalistas Canal Población, no es posible evacuar un reporte jurídico sobre tales derechos reales, lo que se hará en una próxima entrega, cuanto se cuente con los instrumentos públicos auténticos.

Por ahora, se analizará la situación legal de la Asociación de Canalistas Canal Población, y de los derechos de aprovechamiento de sus miembros, acorde con la información oficial del Registro Público de Organizaciones de Usuarios, que forma parte del Catastro Público de Aguas que lleva la Dirección General de Aguas, según el mandato del legislador contenido en el artículo 122 inciso 1° del Código de Aguas.

1.2.2 Regulación de las Organizaciones de Usuarios antes de la Existencia del Código de Aguas.

La Ley Nº 2.139, de 9 de noviembre de 1908, sobre Asociaciones de Canalistas, fue la primera ley sobre Organizaciones de Usuarios que se dictó en nuestro país y tuvo por finalidad reglamentar la situación y funcionamiento de las comunidades de aguas existentes y de las que se formaran a partir de la fecha señalada.

La ley permitió que todas las comunidades de aguas se organizaran bajo la forma de Asociaciones de Canalistas, con personalidad jurídica propia, con un patrimonio distinto de los accionistas.

Además, la ley estableció un medio práctico de establecer los derechos de aprovechamiento de cada asociado, mediante la determinación de la una unidad de medida, el regador.

También, dio a los derechos de aprovechamiento la publicidad y garantía que su conservación requiere, estableciendo un sistema de constitución, transferencia y transmisión de su dominio al igual que los inmuebles.

El único requisito que debían tener los que pretendían formar una Asociación de Canalistas era ser dueño de derechos de aguas.

Ahora bien, en cuanto, a las formalidades que debían observar para organizarse, debían constituirse por escritura pública, fijando en ella un domicilio y presentar sus estatutos a la aprobación del Presidente de la República, quién debía recabar el acuerdo del consejo de Estado.

En cuanto a los regadores, la ley dispuso que los actos y contratos traslaticios de dominio de perfeccionarían por escritura pública y la tradición operaba por la inscripción de un Registro especial que se abrirá en cada departamento donde exista Conservador de Bienes Raíces.

Este es el Registro de Regadores, denominado de Asociaciones de Canalistas el año 1943 en el Código Orgánico de Tribunales.

1.2.3 Regulación de las Organizaciones de Usuarios bajo la Vigencia del actual Código de Aguas de 1981

Las Asociaciones de Canalistas son personas jurídicas formadas por los dueños de derechos de aprovechamiento de aguas que se conducen por un mismo cauce artificial, y que tienen como finalidad tomar aguas del canal matriz, repartirla entre los asociados, conservar y mejorar los acueductos y sus obras de arte y celebrar todos los actos y contratos que sean necesarios para el cumplimiento de sus fines.

Esta persona jurídica sólo se puede constituir en forma voluntaria, cuando todos los titulares de derechos de aprovechamiento (100%) que aprovechan las aguas de un mismo canal o embalse, suscriban una escritura pública ante Notario Pública con la finalidad de constituirse en Asociación de Canalistas (artículos 186 y 257)

La escritura pública de constitución y sus estatutos, deben ser informados por la Dirección General de Aguas y aprobados por decreto del Presidente de la República, el cual se publica en el Diario Oficial.

Las Asociaciones de Canalistas obtienen su personalidad jurídica por el solo hecho de constituirse de conformidad a la ley, esto es, que su escritura de constitución, y sus estatutos, sean aprobados por decreto del Presidente de República, publicado en el Diario Oficial, previo informe de la Dirección General de Aguas (Art. 257).

Las Asociaciones de Canalistas se entenderán legalmente organizadas una vez que se practique su registro en el Libro Registro Público de Organizaciones de Usuarios, que lleva el Archivero de la División Legal de la Dirección General de Aguas (artículo 196 inciso 1° en relación con el artículo 258 inciso 1°).

El registro como trámite obligatorio para que una Asociación de Canalistas -y todas las organizaciones de usuarios que el Código de Aguas regula- se entienda legalmente organizada, nace a la vida jurídica el 29 de octubre de 1981, data en que entró a regir dicha codificación.

Este trámite es obligatorio no sólo para las Asociaciones de Canalistas que se constituyan con posterioridad al 29 de octubre de 1981, sino también para las Asociaciones que se encontraban constituidas antes de esa data, según lo prescribe el artículo 2° inciso 2° del Reglamento sobre Registro de Organizaciones de Usuarios, contenido en el Decreto Supremo N° 187, de 2 de 1983, del Ministerio de Obras Públicas.

Ahora bien, el registro se ordena mediante una resolución exenta del Director General de Aguas.

El citado registro se materializa mediante una anotación manuscrita que efectúa el Archivero de la División Legal en el Registro Público de Organizaciones de Usuarios.

1.2.4 Derechos de Agua Superficial Constituidos en el Área de Estudio

La existencia de derechos de agua superficiales en el área del estudio es una condición necesaria para realizar las experiencias piloto de recarga artificial. En efecto, no basta con el respaldo hidrológico de los esteros o canales desde los que se podrían extraer las aguas a emplear en estos ensayos, sino el respaldo legal.

Las opciones de fuentes de aguas superficiales para la operación de los pilotos son los esteros Las Cadenas, Chequén y Trinidad, y el canal Población.

1.2.5 Derechos de Agua Constituidos en el Estero Las Cadenas

Se realizó un estudio de derechos de agua superficiales constituidos en el área de estudio, que entregó como resultado la reciente constitución de un traslado de

derechos, identificado con el expediente DGA VT-0603-2016. Los derechos en cuestión fueron constituidos en favor de Montes S.A. el 16 de enero de 2014 (Resolución DGA Nº45) mediante el detalle de la Tabla 1.1 y la Tabla 1.2.

Tabla 1.1: Derechos Constituidos en el Estero Las Cadenas.

Tipo Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	(l/s)											
Permanente y continuo	5	3	7	18	18	18	18	18	18	18	18	12
Eventual y discontinuo	13	15	11	0	0	0	0	0	0	0	0	6

Tabla 1.2: Derechos Constituidos en el Estero Chequén.

Tipo Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	(l/s)											
Permanente y discontinuo	0	0	0	1	18	18	18	18	15	4	2	0
Eventual y discontinuo	18	18	18	17	0	0	0	0	3	14	16	18

Los puntos de captación son 4: 2 en el estero Las Cadenas y 2 en el estero Chequén, los se muestran en la Tabla 1.3. En la resolución se indica que los caudales se podrán captar gravitacional o mecánicamente en forma indistinta y alternada. Las coordenadas UTM (Datum WGS 84) de estos puntos de captación se detallan en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3: Puntos de captación VT-0603-2016.

Cauce	Coordenadas UTM WGS84	
	Norte (m)	Este (m)
Estero Las Cadenas	6.192.173	257.615
	6.192.365	256.525
Estero Chequén	6.196.094	255.594
	6.195.973	255.799

Estos derechos podrían emplearse en pilotos de recarga artificial de acuíferos en los sectores Las Cadenas y Chequén.

1.2.6 Diagnóstico o Situación Legal de la Asociación de Canalistas del Canal Población

a) Constitución, Organización y Registro

La Asociación de Canalistas del Canal Población se constituyó por escritura pública de fecha 15 de abril de 1916, otorgada ante el Notario Público de Santiago don Mariano Melo E., en conformidad con las disposiciones de la Ley N° 2.139, de 9 de noviembre de 1908.

Por Decreto Supremo Nº 646, de 25 de mayo de 1916 del Ministerio de Industria y Obras Públicas, publicado en el Diario Oficial Nº 1.434, de 5 de junio de 1916, se concedió personalidad jurídica a la corporación denominada Asociación del Canal Población y se aprobaron los Estatutos por los cuales se regiría, los que estaban contenidos en la escritura pública indicada precedentemente.

Por escritura pública de fecha 29 de agosto de 1938, otorgada ante el Notario Público de Santiago don Javier Echevarría Vial, se modificaron los estatutos de la Asociación. Por Decreto Supremo Nº 5034, de 12 de diciembre de 1938 del Ministerio de Justicia, publicado en el Diario Oficial Nº18.246, de 22 de diciembre de 1938, se aprobaron las reformas introducidas a los estatutos de la Asociación del Canal Población.

Por escrituras públicas de fechas 16 de junio de 1958 y de 12 de marzo de 1959, ambas otorgadas ante el Notario Público de Santiago don Javier Echevarría Vial, se modificaron los estatutos de la Asociación. Por Decreto Supremo Nº 1.595, de 24 de agosto de 1959 del Ministerio de Obras Públicas, publicado en el Diario Oficial Nº 24.245, de 24 de agosto de 1959, se aprobaron las reformas introducidas a los estatutos de la Asociación del Canal Población, en los términos que dan cuenta los instrumentos públicos citados.

Por Resolución DGA Nº 240, de 30 de enero de 2011, se ordenó su registro y se declaró legalmente organizada. Su registro rola a fojas 71, del Libro Registro Público de Asociaciones de Canalistas.

El registro referido se practicó en virtud del artículo transitorio del Decreto Supremo Nº 187, de 2 de mayo de 1983, del Ministerio de Obras Públicas, Reglamento sobre Registro de Organizaciones de Usuarios, que dispuso que las organizaciones que ha su publicación, esto es, al 28 de junio de 1983, se encontraban con su situación legal regularizada, se anotarían en el Libro Registro respectivo sin más trámite.

b) Análisis de los Estatutos

De acuerdo con el artículo 1º de sus Estatutos, la Asociación de Canalistas del Canal Población tiene por objeto extraer el agua del Río Chimbarongo, repartirla entre los accionistas des expresado canal y conservar y mejorar los acueductos, bocatomas, marcos y dispositivos y especialmente, adquirir a cualquier título, arrendar terrenos para las bocatomas, para la administración del canal o para las oficinas de la Asociación, instalar fuerzas motrices, debiendo aplicar las utilidades que de estos negocios resultaren a los fines de la Asociación.

Agregando, que la Asociación podrá asociarse con otras análogas con el fin de construir en el Río Chimbarongo bocatomas comunes y ejecutar en el canal común o en sus derivados y en los terrenos que se obtengan al efecto las obras de captación o de embalse de aguas, para conducirlas por nuevos acueductos, para adquirir los terrenos que exijan estas obras. Aprovechar las fuerzas motrices y obtener todas las ventajas que resulten de estos trabajos a favor de los fines de la Asociación.

El domicilio de la Asociación de Canalistas es la ciudad de Santiago (artículo 3º)

c) *Derechos de aprovechamiento de los accionistas y forma de distribución*

Los derechos del Canal Población son los que corresponden a la totalidad de los derechos de los accionistas en el Río Chimbarongo, o sea los derechos suficientes para regar tres mil cuadras (artículo 5°).

Estos derechos se consideran divididos en trescientas partes iguales denominadas acciones o regadores, y se distribuyen entre los accionistas en la siguiente forma:

1. Javier Aujet Figueroa, cincuenta y cinco regadores y doscientos setenta y siete milésimos de regador
2. Rafael Concha, veintiséis regadores y trescientos ochenta y ocho milésimos de regador
3. Guillermo Velasco, treinta regadores y seiscientos veinticuatro milésimos de regador
4. Elvira Velasco, treinta y cuatro regadores y trescientos treinta y tres milésimos de regador
5. Ismael Duque, diez y seis regadores y doscientos setenta y siete milésimos de regador
6. Regina Errázuriz de Larraín, cuarenta y seis regadores y veintiún milésimos de regador
7. Javier, Luisa y Ana Errázuriz Mena, veinticinco y cinco regadores y setecientos ochenta y nueve milésimos de regador
8. Carlos Errázuriz, nueve regadores y cuatrocientos cincuenta y cuatro milésimos de regador
9. Neftalí Urzúa, veintisiete y medio regadores

10. Juan Crisóstomo Valenzuela, veintisiete y medio regadores

1.2.7 Conclusiones

- Existen derechos superficiales constituidos en las proximidades de los sectores Las Cadenas y Chequén, propuestos para la construcción de pilotos de recarga artificial de acuíferos. Estos derechos son por un caudal de 18 (l/s) y están constituidos en favor de Montes S.A.

- La Asociación de Canalistas del Canal Población se constituyó de forma extrajudicial por las escrituras públicas citadas precedentemente, de conformidad con las disposiciones de la Ley N° 2.139, de 1906.

- Sus estatutos fueron aprobados y reformados por los decretos supremos del Presidente de la República, ya singularizados, los cuales fueron publicados en las ediciones del Diario Oficial de la República, citadas precedentemente.

- Mediante Resolución DGA N° 240 del 30 de enero de 2001, se ordenó su registro y se declaró legalmente organizada. El trámite del registro se materializó con su anotación a fojas 71, del Libro Registro Público de Asociaciones de Canalistas, la que se efectúo el día 1° de febrero de 2001.

- En estas condiciones, la Asociación de Canalistas del Canal Población se encuentra legalmente organizada, esto es, tiene existencia en el mundo jurídico y está sometida a la fiscalización y supervigilancia de la Dirección General de Aguas (artículos 283, 291 y 299 letra e) del Código de Aguas).

- Lo anterior se encuentra acreditado con el Certificado N° 33, de 14 de enero de 2014, expedido por la Abogada Archivera de la División Legal de la Dirección General de Aguas, doña Evelyn Arévalo Piñeda, que se adjunta (artículo 12 del Reglamento del Catastro Público de Aguas).

- Por otra parte, de los antecedentes tenidos a la vista no existe constancia de que los derechos de aguas de los asociados expresados en regadores,

se inscribieron en el Registro especial de Regadores del Conservador de Bienes Raíces del departamento en que se ubica el canal matriz, acorde lo establecían los artículos 5° y 7° de la Ley N° 2.139, y el Reglamento N° 1.666 de 8 de agosto de 1910.

- Los derechos de aprovechamiento que corresponden a los asociados se consideran divididos en trescientas (300) acciones o regadores Estatutos.

- Los derechos de aprovechamiento de los asociados que se consignan en los Estatutos se encuentran expresados en volumen por unidad de tiempo como lo exige el artículo 7° del Código de Aguas (artículo 45 letra d) del Reglamento de Catastro Público de Aguas).

- Los derechos de aprovechamiento de los asociados no señalan las características que otorga o reconoce el artículo 12 del Código de Aguas, a saber, si se trata de un derecho consuntivo o no consuntivo; o de ejercicio permanente o eventual; o de ejercicio continuo, discontinuo o alternado entre varias personas (el artículo 45 letra e) del Reglamento del Catastro Público de Aguas).

ANEXO C

CAMPAÑA DE TERRENO:

REGISTRO FOTOGRÁFICO CATASTRO NIVELES DE POZOS

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
250521	6196247
Fecha	07-01-2014
Código BNA	ND-0603-3234
Prof. Pozo	4,97 D
Nivel Terreno	176
ID Pozo	P02

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
251508	6196690
Fecha	07-01-2014
Código BNA	ND-0603-3223
Prof. Pozo	1,7 E
Nivel Terreno	180
ID Pozo	P03

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
251508	6196690
Fecha	07-01-2014
Código BNA	VPC-0603-2005
Prof. Pozo	2,4 D
Nivel Terreno	180
ID Pozo	P04

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256186	6196024
Fecha	07-01-2014
Código BNA	VPC-0603-2005
Prof. Pozo	49,75 D
Nivel Terreno	158
ID Pozo	P05

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
255622	6196135
Fecha	07-01-2014
Código BNA	ND-0603-2074
Prof. Pozo	43,
Nivel Terreno	154
ID Pozo	P06

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
255463	6196428
Fecha	07-01-2014
Código BNA	ND-0603-2099
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	164
ID Pozo	P07

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
255221	6196312
Fecha	07-01-2014
Código BNA	VPC-0603-2005
Prof. Pozo	43,01 D
Nivel Terreno	152
ID Pozo	P08

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
254555	6196362
Fecha	07-01-2014
Código BNA	ND-0603-2155
Prof. Pozo	47,38
Nivel Terreno	156
ID Pozo	P09

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
257251	6195281
Fecha	07-01-2014
Código BNA	NN
Prof. Pozo	73,5 D
Nivel Terreno	151
ID Pozo	P10

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
257482	6195353
Fecha	08-01-2014
Código BNA	ND-0603-2007
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	151
ID Pozo	P11

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
258918	6194242
Fecha	08-01-2014
Código BNA	ND-0603-2113
Prof. Pozo	52,51 D
Nivel Terreno	137
ID Pozo	P12

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
258923	6193849
Fecha	08-01-2014
Código BNA	ND-0603-2098
Prof. Pozo	53,22 D
Nivel Terreno	137
ID Pozo	P13

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
259092	6193342
Fecha	08-01-2014
Código BNA	ND-0603-2120
Prof. Pozo	34,54 D
Nivel Terreno	136
ID Pozo	P14

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
259927	6194072
Fecha	08-01-2014
Código BNA	ND-0603-2098
Prof. Pozo	57,2 D
Nivel Terreno	149
ID Pozo	P15

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
259901	6190319
Fecha	08-01-2014
Código BNA	ND-0603-3177
Prof. Pozo	4,4 E
Nivel Terreno	134
ID Pozo	P16

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
259217	6191043
Fecha	08-01-2014
Código BNA	DGA Criadero de aves
Prof. Pozo	7,8
Nivel Terreno	138
ID Pozo	P17

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
261503	6195116
Fecha	08-01-2014
Código BNA	DGA Matadero Marchigüe
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	154
ID Pozo	P18

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
265651	6185132
Fecha	08-01-2014
Código BNA	VPC-0602-2017
Prof. Pozo	18,5
Nivel Terreno	135
ID Pozo	P19

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
264911	6185700
Fecha	08-01-2014
Código BNA	ND-0602-2859
Prof. Pozo	10,65 D
Nivel Terreno	140
ID Pozo	P20

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
265129	6185439
Fecha	08-01-2014
Código BNA	NN
Prof. Pozo	15.3 D
Nivel Terreno	142
ID Pozo	P21

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
264844	6186653
Fecha	08-01-2014
Código BNA	ND-0602-2862
Prof. Pozo	1.9 E
Nivel Terreno	135
ID Pozo	P22

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
264923	6186044
Fecha	08-01-2014
Código BNA	ND-0602-2858
Prof. Pozo	9,1 D
Nivel Terreno	138
ID Pozo	P23

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
264879	6185408
Fecha	08-01-2014
Código BNA	ND-0602-800017
Prof. Pozo	15,4 E
Nivel Terreno	140
ID Pozo	P24

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
268156	6183529
Fecha	08-01-2014
Código BNA	ND-0602-1645
Prof. Pozo	22,1 D
Nivel Terreno	134
ID Pozo	P25

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
268637	6183199
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-2196
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	134
ID Pozo	P26

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
267786	6182996
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-2171
Prof. Pozo	26,1 D
Nivel Terreno	135
ID Pozo	P27

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
266798	6180866
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-695
Prof. Pozo	11,8 D
Nivel Terreno	140
ID Pozo	P28

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
265317	6181990
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-2003
Prof. Pozo	9,5 E
Nivel Terreno	147
ID Pozo	P29

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
264810	6187191
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-2857
Prof. Pozo	2,2 E
Nivel Terreno	135
ID Pozo	P30

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
266012	6184785
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-3579
Prof. Pozo	9,5 E
Nivel Terreno	126
ID Pozo	P31

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
266376	6184643
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-2839
Prof. Pozo	8,6 D
Nivel Terreno	130
ID Pozo	P32

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
267295	6183368
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-2241
Prof. Pozo	31, 4 D
Nivel Terreno	131
ID Pozo	P33

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
267388	6181141
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-695
Prof. Pozo	9,8 D
Nivel Terreno	157
ID Pozo	P34

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
267389	6181265
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-4610
Prof. Pozo	6,7 D
Nivel Terreno	157
ID Pozo	P35

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
269362	6181236
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-4447
Prof. Pozo	1,2 E
Nivel Terreno	143
ID Pozo	P36

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
270409	6182769
Fecha	09-01-2014
Código BNA	DGA Asentamiento San Isidro
Prof. Pozo	0,6 E
Nivel Terreno	133
ID Pozo	P37

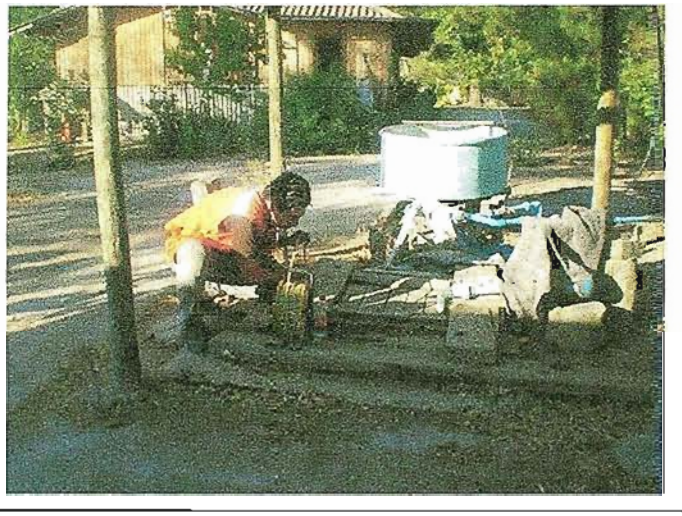
Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
270291	6182725
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-3936
Prof. Pozo	5,5
Nivel Terreno	131
ID Pozo	P38

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
268814	6182378
Fecha	09-01-2014
Código BNA	ND-0602-2416
Prof. Pozo	9,5
Nivel Terreno	138
ID Pozo	P39

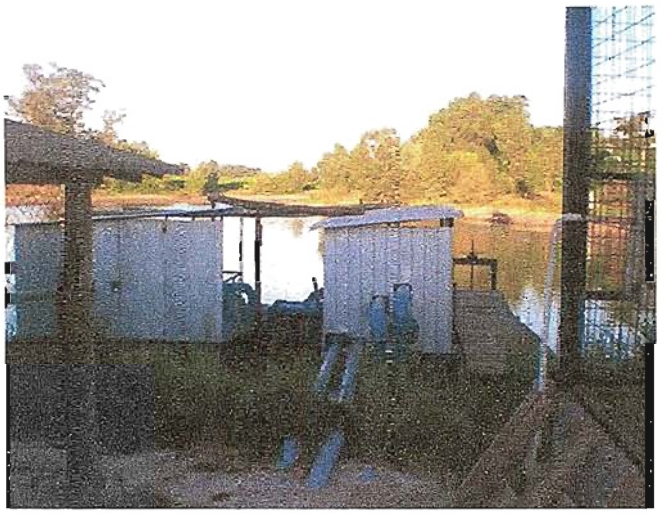
Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
261703	6194936
Fecha	10-01-2014
Código BNA	ND-0603-2956
Prof. Pozo	11.8 E
Nivel Terreno	158.9
ID Pozo	P40

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
262349	6194033
Fecha	10-01-2014
Código BNA	ND-0603-4023
Prof. Pozo	5.6 E
Nivel Terreno	144.8
ID Pozo	P41

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
263941	6193104
Fecha	10-01-2014
Código BNA	ND-0603-4040
Prof. Pozo	6.87 E
Nivel Terreno	134.6
ID Pozo	P42



Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
268245	6190383
Fecha	10-01-2014
Código BNA	ND-0603-3181
Prof. Pozo	6.8 D
Nivel Terreno	121.8
ID Pozo	P43

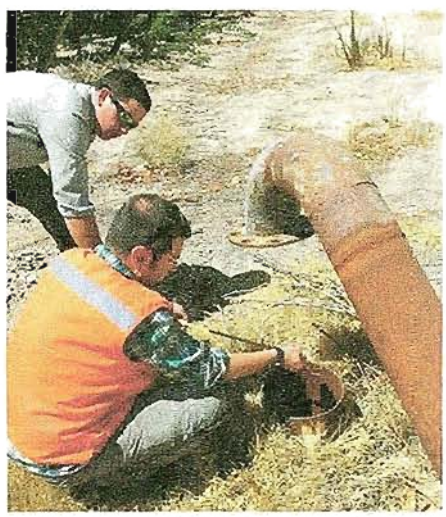


Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
268782	6188462
Fecha	10-01-2014
Código BNA	ND-0603-2048
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	125.0
ID Pozo	P44

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
259271	6191377
Fecha	25-02-2014
Código BNA	NN
Prof. Pozo	5.7 E
Nivel Terreno	179.5
ID Pozo	P45

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
259287	6191586
Fecha	25-02-2014
Código BNA	NN
Prof. Pozo	7.71 E
Nivel Terreno	165.6
ID Pozo	P46

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
258360	6192012
Fecha	25-02-2014
Código BNA	NN
Prof. Pozo	3.90 E
Nivel Terreno	155.2
ID Pozo	P47

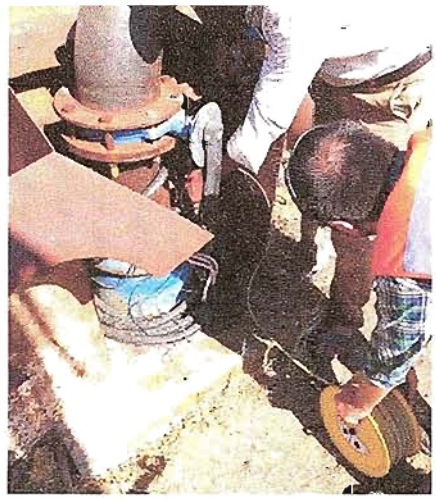


Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
260532	6194629
Fecha	25-02-2014
Código BNA	ND-0603-2108
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	156.0
ID Pozo	P48

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
260606	6193469
Fecha	25-02-2014
Código BNA	ND-0603-2108
Prof. Pozo	58.6 D
Nivel Terreno	161.2
ID Pozo	P49

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
259829	6192980
Fecha	25-02-2014
Código BNA	ND-0603-2153
Prof. Pozo	54.0 D
Nivel Terreno	157.6
ID Pozo	P50

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
259836	6192992
Fecha	25-02-2014
Código BNA	ND-0603-3856
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	155.0
ID Pozo	P51



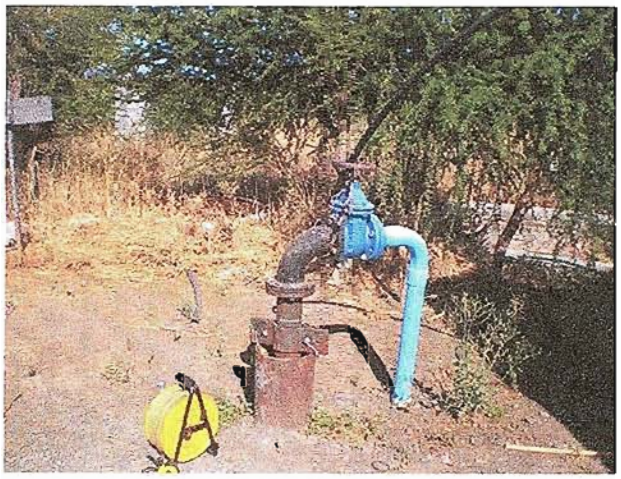
Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
265415	6190275
Fecha	25-02-2014
Código BNA	ND-0603-2047
Prof. Pozo	19.9 E
Nivel Terreno	155.3
ID Pozo	P52

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
263761	6190455
Fecha	25-02-2014
Código BNA	ND-0603-2059
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	144.4
ID Pozo	P53

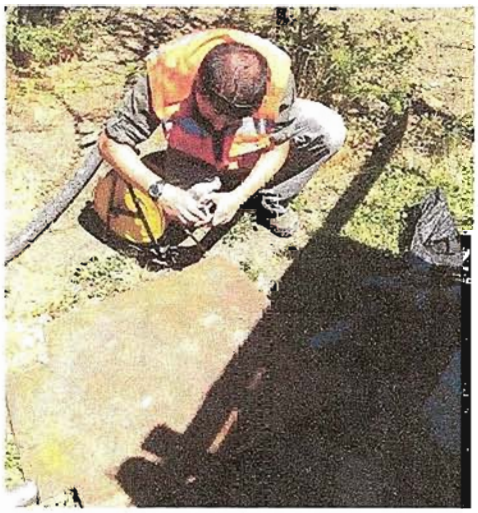
Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
265456	6192387
Fecha	25-02-2014
Código BNA	ND-0602-3264
Prof. Pozo	5.2 E
Nivel Terreno	138.9
ID Pozo	P54

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
265411	6192214
Fecha	25-02-2014
Código BNA	NN
Prof. Pozo	4.8 E
Nivel Terreno	132.4
ID Pozo	P55

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
258413	6191105
Fecha	25-02-2014
Código BNA	ND-0603-3486
Prof. Pozo	10.6 D
Nivel Terreno	134.1
ID Pozo	P56

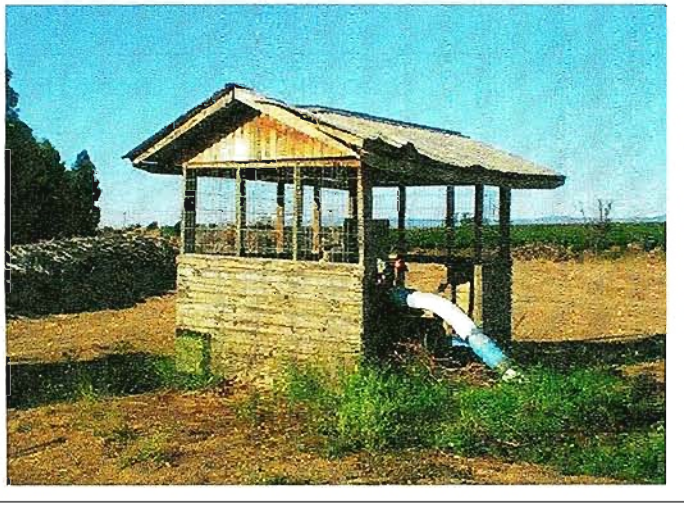


Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256525	6192776
Fecha	25-02-2014
Código BNA	ND-0603-2954
Prof. Pozo	15.4D
Nivel Terreno	138.7
ID Pozo	P57



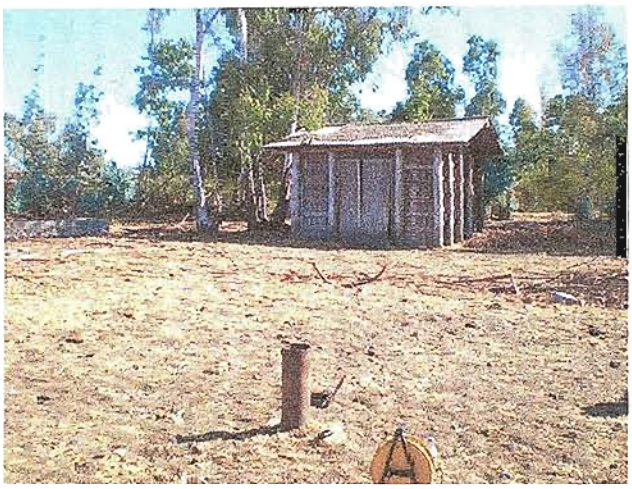
Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256198	6192915
Fecha	26-02-2014
Código BNA	NN
Prof. Pozo	7.1 D
Nivel Terreno	143.0
ID Pozo	P58

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256243	6192541
Fecha	26-02-2014
Código BNA	NN
Prof. Pozo	6.3 E
Nivel Terreno	132.9
ID Pozo	P59



Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256108	6195810
Fecha	26-02-2014
Código BNA	ND-0603-2099
Prof. Pozo	65.9 D
Nivel Terreno	156.0
ID Pozo	P60

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256674	6195661
Fecha	26-02-2014
Código BNA	ND-0603-2390
Prof. Pozo	27.5 E
Nivel Terreno	152.3
ID Pozo	P61



Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256499	6195488
Fecha	26-02-2014
Código BNA	ND-0603-2385
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	151.9
ID Pozo	P62

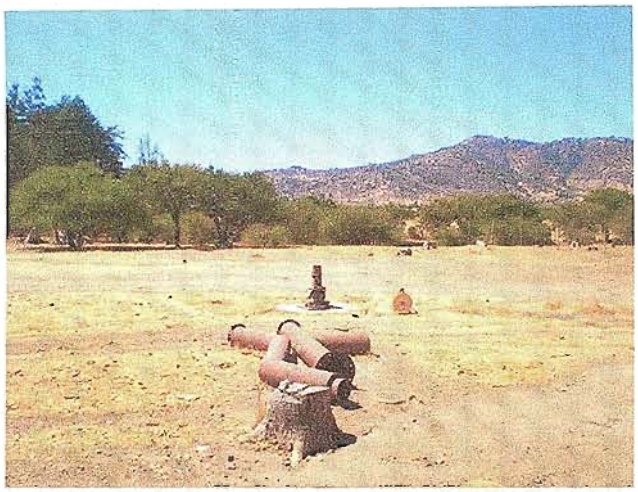
Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256567	6195556
Fecha	26-02-2014
Código BNA	ND-0603-2386
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	151.1
ID Pozo	P63

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256692	6195511
Fecha	26-02-2014
Código BNA	ND-0603-2383
Prof. Pozo	41.2 E
Nivel Terreno	151.7
ID Pozo	P64

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
256406	6195358
Fecha	26-02-2014
Código BNA	ND-0603-2388
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	156
ID Pozo	P65

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
262867	6193797
Fecha	26-02-2014
Código BNA	ND-0603-3856
Prof. Pozo	15.9 E
Nivel Terreno	148.3
ID Pozo	P66

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
266916	6191472
Fecha	26-02-2014
Código BNA	ND-0603-800047
Prof. Pozo	27.4 D
Nivel Terreno	131.6
ID Pozo	P67

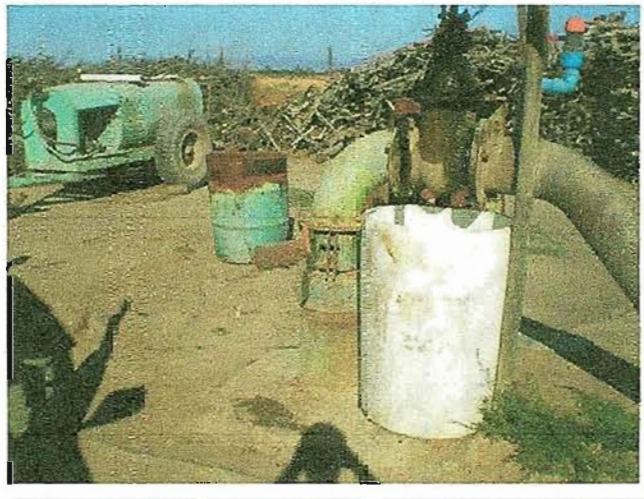


Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
261902	6193957
Fecha	26-02-2014
Código BNA	ND-0603-3476
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	154.8
ID Pozo	P68

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
267479	6187536
Fecha	26-02-2014
Código BNA	NN
Prof. Pozo	11.4 D
Nivel Terreno	139.5
ID Pozo	P69

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
267142	6186933
Fecha	26-02-2014
Código BNA	NN
Prof. Pozo	14.0 E 39.5 D
Nivel Terreno	137.5
ID Pozo	P70

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
268931	6186316
Fecha	26-02-2014
Código BNA	ND-0602-2169
Prof. Pozo	13.8 D
Nivel Terreno	135.4
ID Pozo	P71



Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
268815	6184536
Fecha	26-02-2014
Código BNA	NN
Prof. Pozo	31.2 D
Nivel Terreno	136.8
ID Pozo	P72

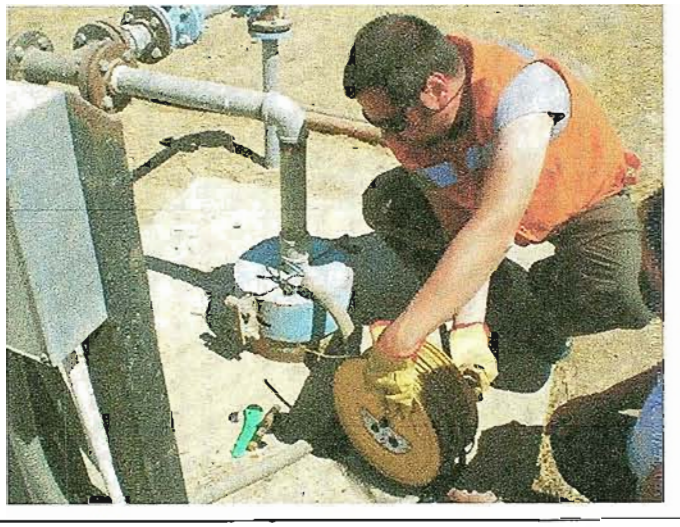
Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
264694	6188216
Fecha	26-02-2014
Código BNA	ND-0602-2861
Prof. Pozo	5.5 D
Nivel Terreno	133.5
ID Pozo	P73

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
259497	6190900
Fecha	27-02-2014
Código BNA	ND-0603-2291
Prof. Pozo	46.0 D
Nivel Terreno	117.4
ID Pozo	P74

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
250319	6195154
Fecha	27-02-2014
Código BNA	ND-0603-4081
Prof. Pozo	5.2 E
Nivel Terreno	150.0
ID Pozo	P75

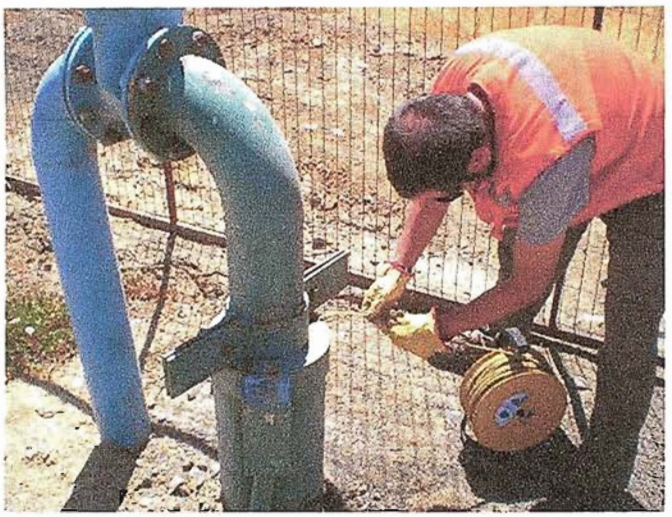
Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
252014	6194232
Fecha	27-02-2014
Código BNA	ND-0603-3524
Prof. Pozo	2.3 D
Nivel Terreno	151.5
ID Pozo	P76

Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
254664	6194674
Fecha	27-02-2014
Código BNA	ND-0603-4064
Prof. Pozo	5.2 D
Nivel Terreno	157.1
ID Pozo	P77



Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
266895	6185308
Fecha	27-02-2014
Código BNA	ND-0602-2571
Prof. Pozo	10.8 D
Nivel Terreno	141.8
ID Pozo	P78

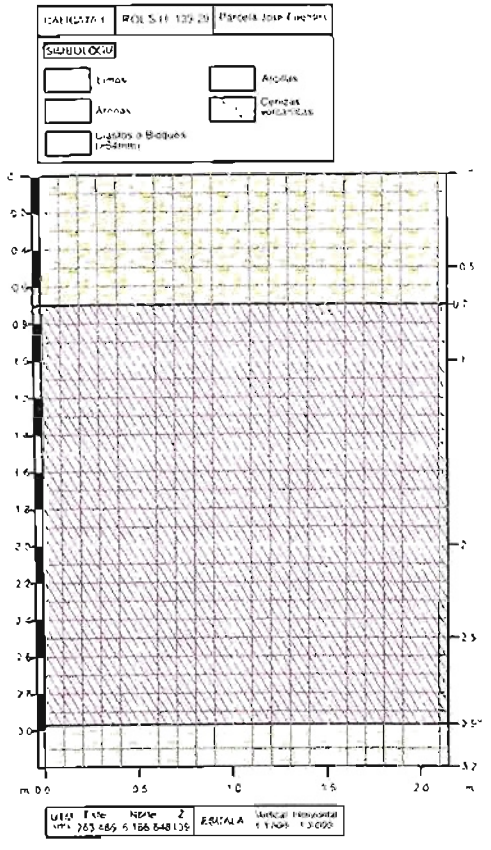
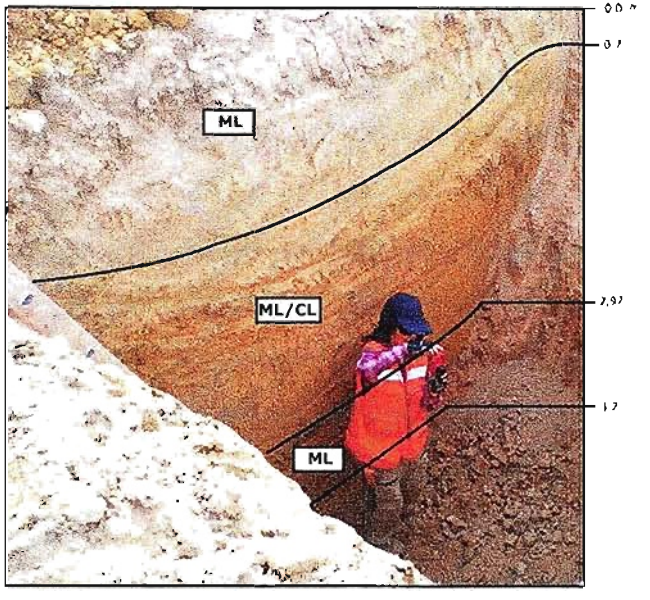
Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
261575	6188285
Fecha	
Código BNA	ND-0603-2147
Prof. Pozo	-
Nivel Terreno	150.4
ID Pozo	P79



Coordenadas UTM WGS84	
Este (m)	**Norte (m)**
261414	6189033
Fecha	
Código BNA	NN
Prof. Pozo	16.8 D
Nivel Terreno	136.7
ID Pozo	P80

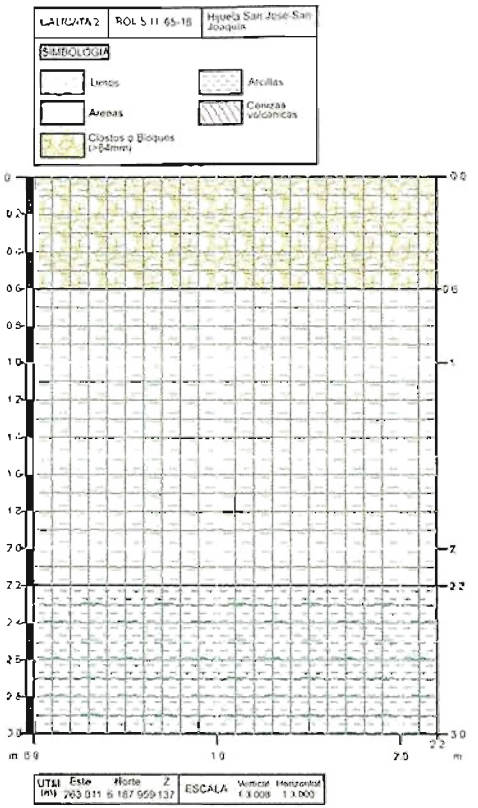
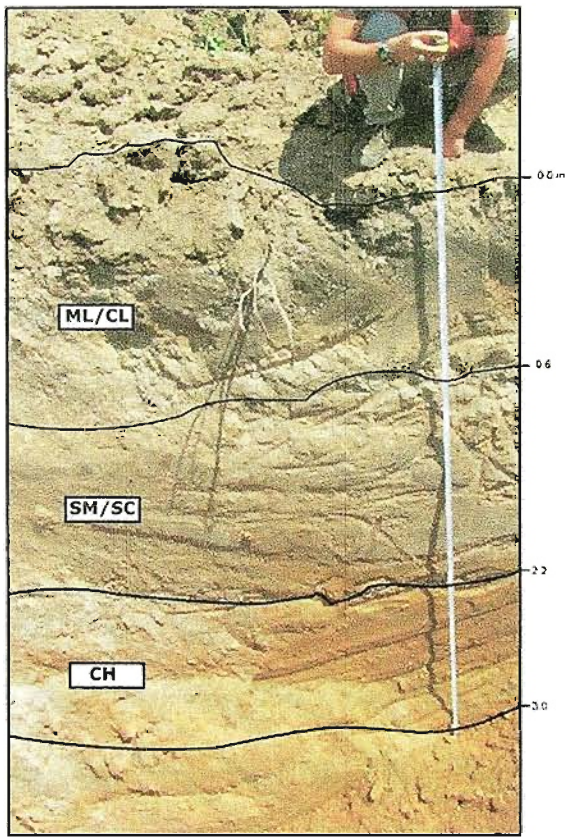
ANEXO D

DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA LITOLÓGICA

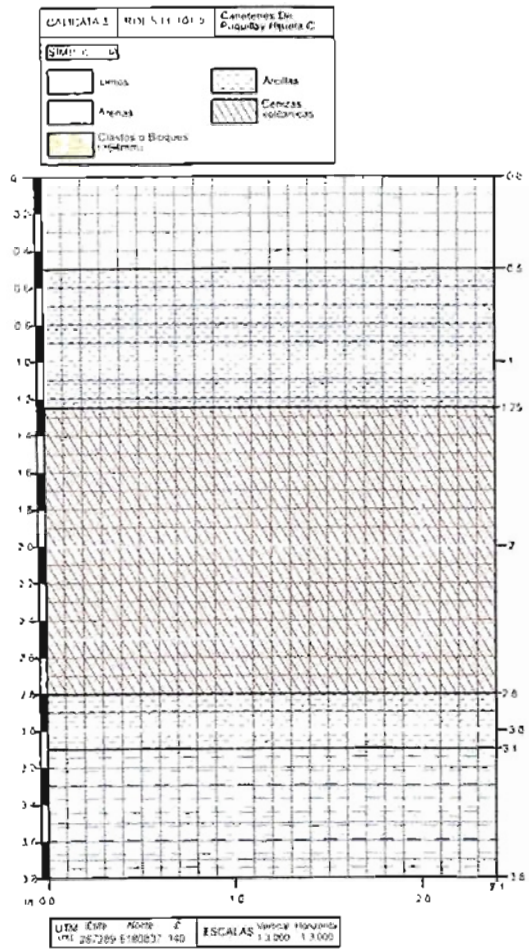
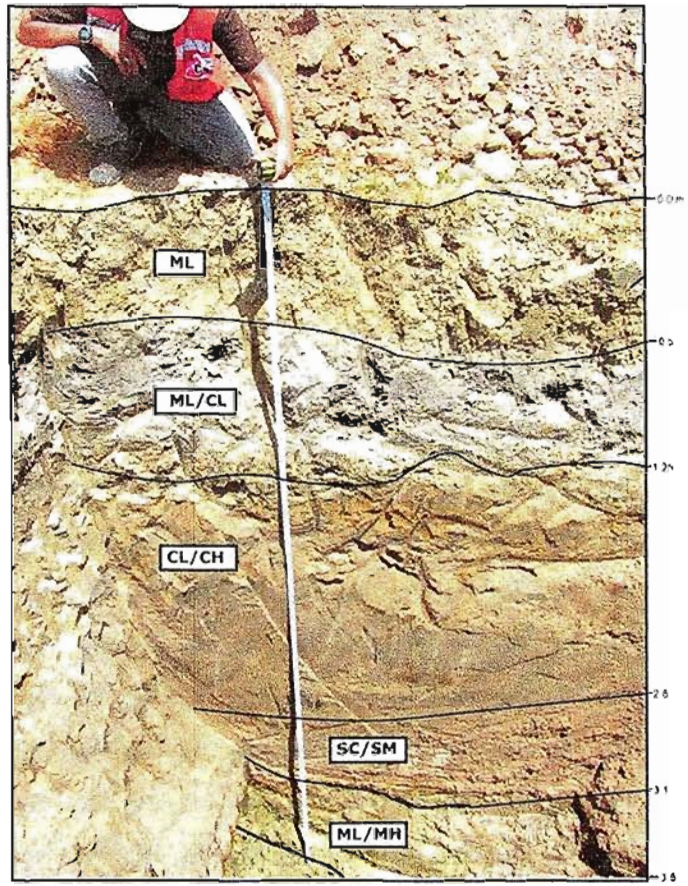
LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍA
	(CATEGORIA USCS) Litología	
	(ML) Limos con bloques	
	(ML/CL) Cenizas finas (limo/arcillas)	
	(ML) Limos con arenas	

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.1/ 0	D.S.	M.M.	NOV. 2014

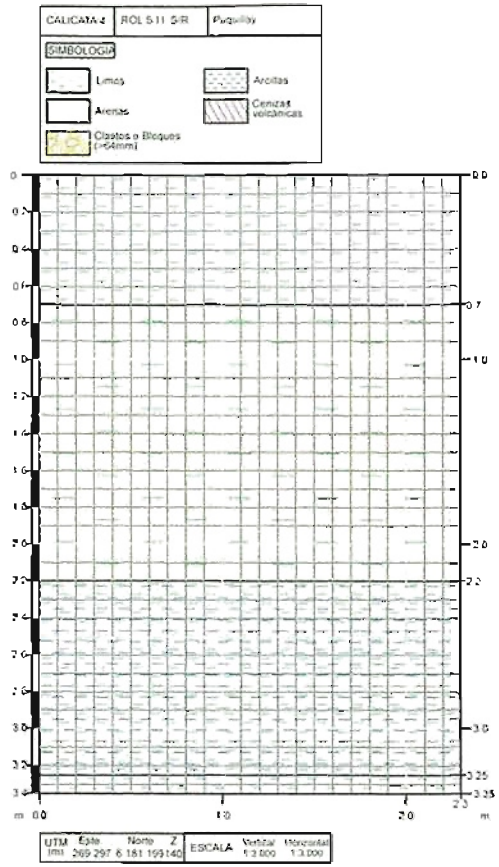
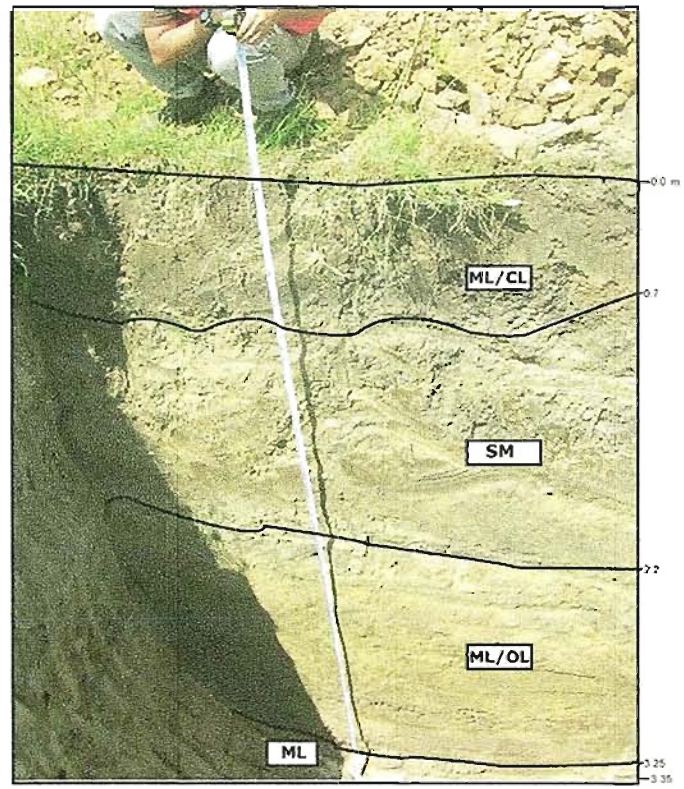
LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍA
	(CATEGORÍA USCS) Litología (ML/CL) Limos con bloques (SM/SC) Arena fina con limos (CH) Arcillas limosas	

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE				
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.2/ 0	D.S.	M.M.	NOV. 2014

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍA
	(CATEGORÍA USCS) Litología (ML) Limos (ML/CL) Arcilla limosa "tosca" (CL/CH) Cenizas (Arcilla con arena fina) (SC/SM) Arena fina a media con arcillas (ML/MH) Limo arcilloso	

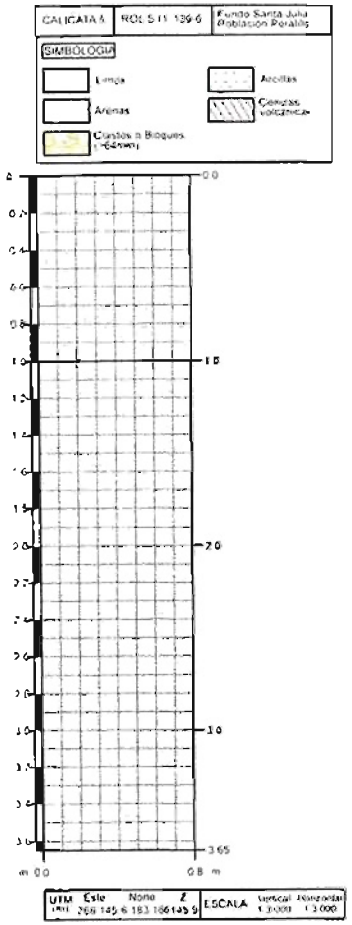
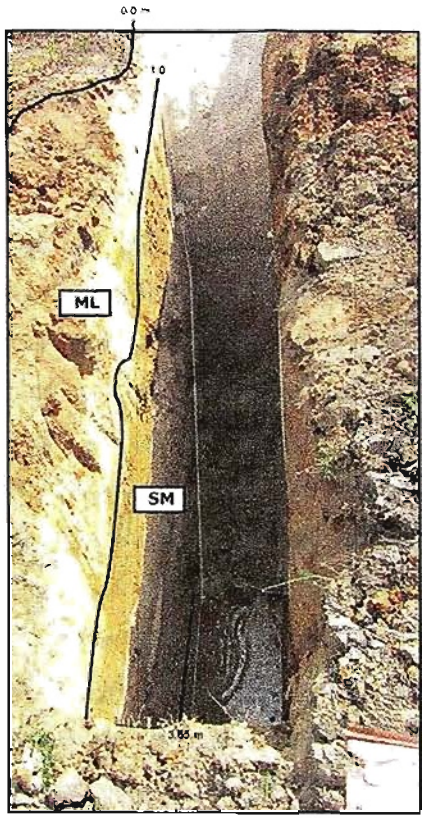
ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.3/ 0	D.S.	M.M.	NOV. 2014

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍA
	(CATEGORÍA USCS) Litología (ML/CL) Limos (SM) Arena con limos (ML/OL) Limo arenoso con arcillas (ML) Limo con arena	

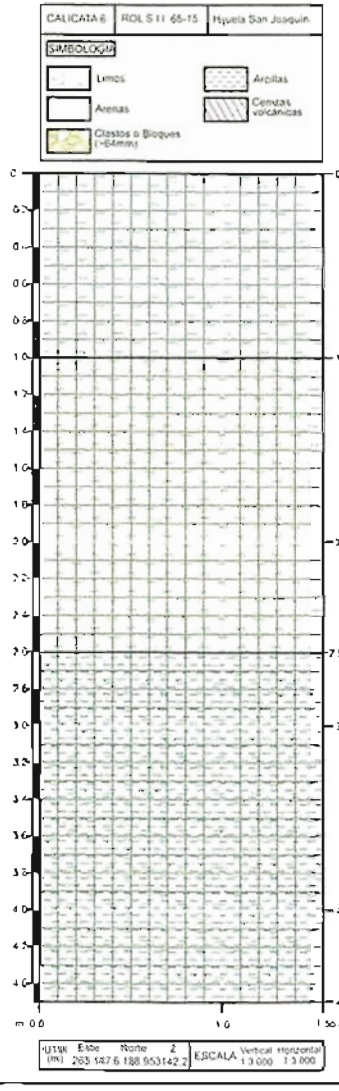
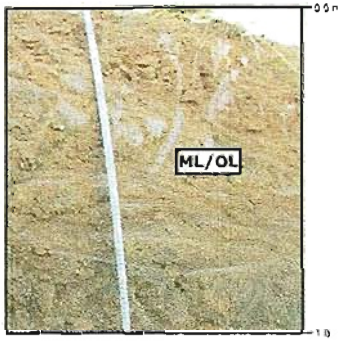
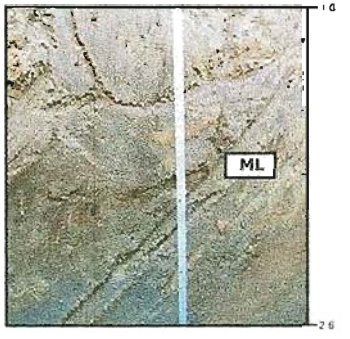
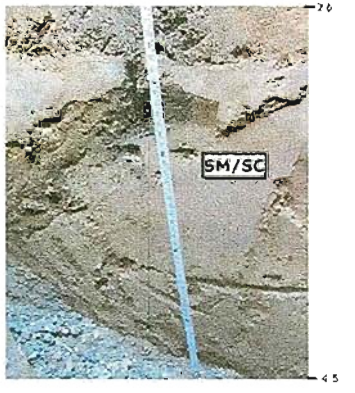
ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	AnexoD.4/ 0	D.S.	M.M.	DIC. 2014

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍA
	(CATEGORÍA USCS) Litología (ML) Limo con arena (SM) Arena limosa	

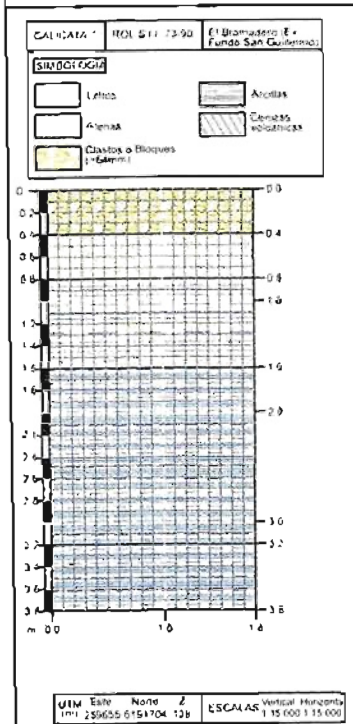
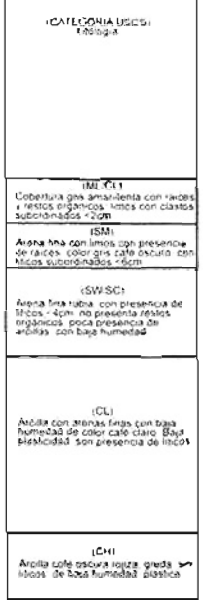
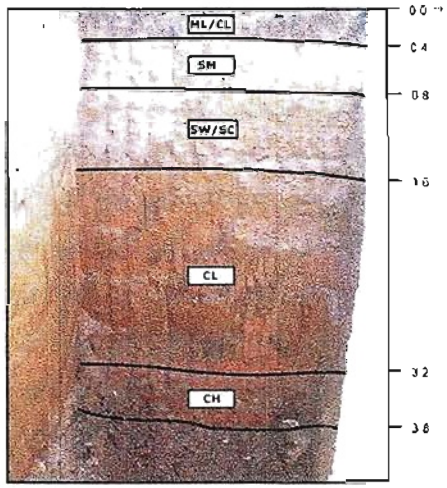
ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO
RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.S / 0	D.S.	M.M.	DIC. 2014

LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍA
	(CATEGORÍA USCS) Litología (ML/OL) Limos (ML) Limos con arena media (SM/SC) Arena media con limos y arcillas	  

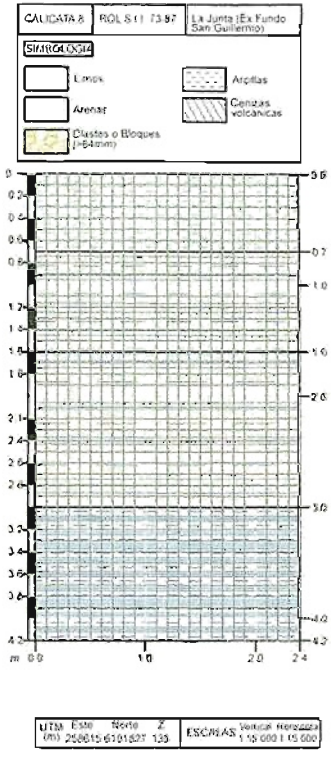
ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE

	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	AnexoD.6 / 0	D.S.	M.M.	DIC, 2014

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍAS
		

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE				
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.7 / 0	D.S.	M.M.	NOV. 2014

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLOGICA	ANEXO FOTOGRAFÍAS



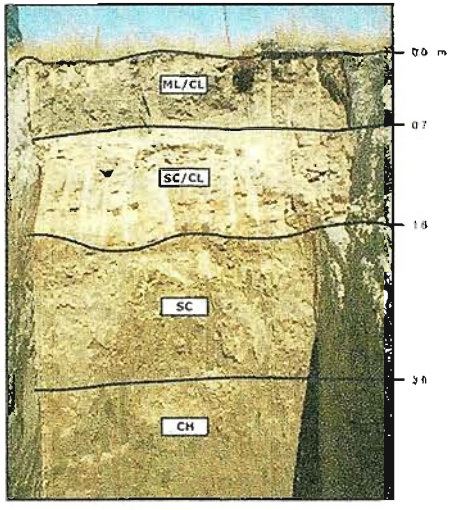
(CATEGORIA USCS)
Litología

(ML/CL)
Cobertura gris amarillenta con raíces y restos orgánicos, limos con presencia de marcilla

(SC/CL)
Arena arcillosa con baja humedad de color gris y plasticidad baja a media. Contacto subyacente de <2cm con distribución en diagonal muy duro de color negro rojizo y centro blanco con presencia de carbón

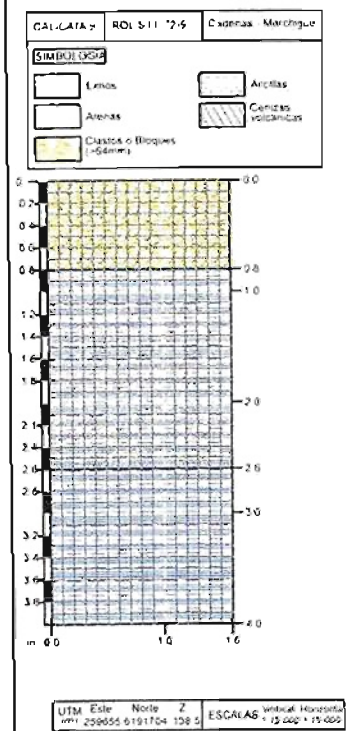
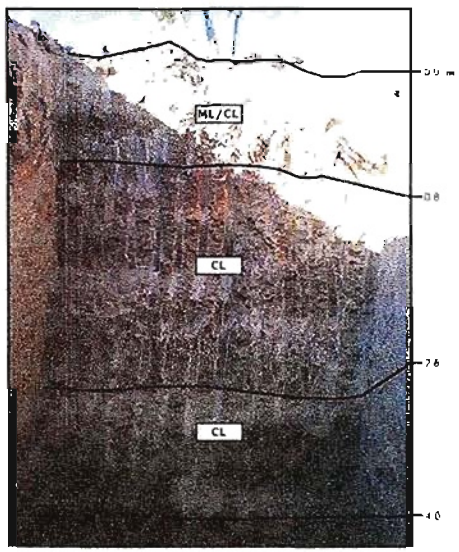
(SC)
Arena con bajo porcentaje de arcilla de baja plasticidad humeda de color café claro

(CH)
Arcillas con arena, plásticas de humeda a mojada con lente diagonal de material rojo cobre

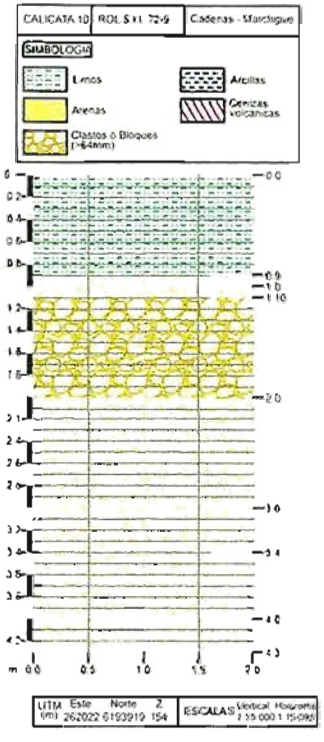
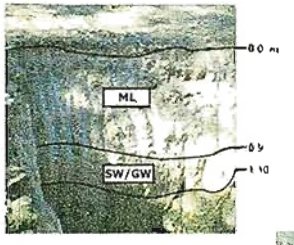
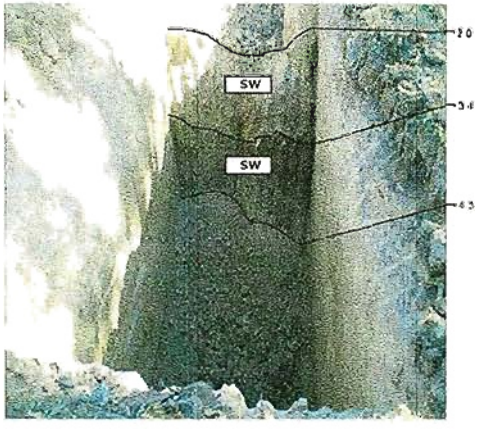


ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO
RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.8 / 0	D.S.	M M.	NOV 2014

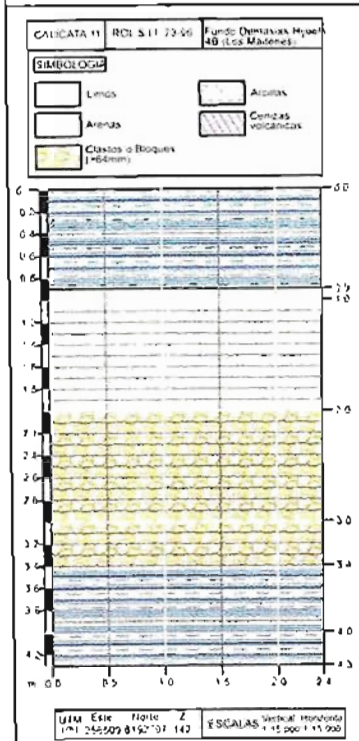
LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍAS
	CATEGORIA USCS : Litología (ML/CL) Cobertura gris amarillenta con raices y restos orgánicos limos con gravas < 1cm (CL) Arcillas con arena de color café con presencia de raíce muy poca humedad. Lente de material verduzco de 0.5x0.3m de gran compactación (CL) Arcilla café oscura con poco porcentaje de arena plástica de poca humedad y sin presencia de raíces	

ANÄLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE				
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÒN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.9 / 0	D.S.	M.M.	NOV. 2014

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍAS
	(CATEGORÍA USCS) Litología (ML) Cobertura con raices y restos orgánicos limos arcillosos color café claro sin presencia de finos (CL) (SW/GW) Arena media de color café con marrollo no plástica Contacto subyacente con gravas arena gruesa con finos de <6cm (SW) Arena media de color gris verdoso no plastico con finos subordinados <4cm Sin humedad (SW) Arena fina de color gris no plastica sin humedad	 

	ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE			
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.10 / 0	D.S.	M.M.	NOV. 2014

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍAS



(CL/SP)

Cobertura gris amarillenta con raíces y restos orgánicos. Arcilla limosa plástica con litos subordinados + 6cm. Contacto subyacente de 10cm de arena media con gravas con fibras + 5cm

(SW)

(GW/SW)

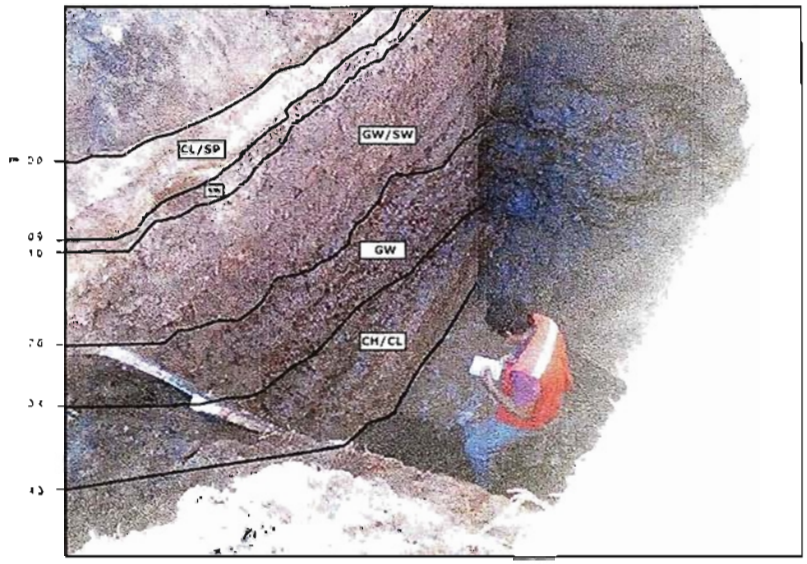
Arena media gravas de +7 cm con presencia de raíces, no plástico humedad 50% gravas aprox

(GW)

Grava con 30% de arena media aprox + con fibras de +12cm de raíces y muy humedo

(CH/CL)

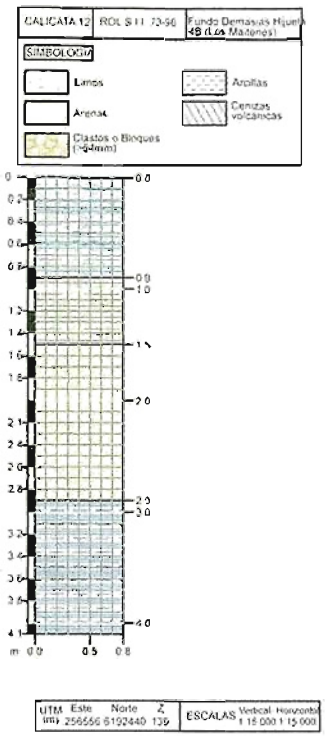
Arcilla arenosa de color cafe claro plástica con presencia de fibras +60cm con almacenamiento agua



ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.11/ 0	D.S.	M.M.	NOV 2014

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍAS



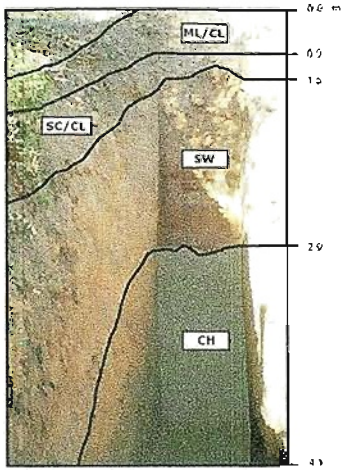
(CATEGORÍA USCS)
Litología

(ML/CL)
Cobertura gris con raíces y restos orgánicos. Limo arcillosa baja plasticidad

(SC/CL)
Arena arcillosa de color café claro sin raíces y poca plasticidad

(SW)
Arena rubia fina con presencia de raíces subterráneas, con baja humedad

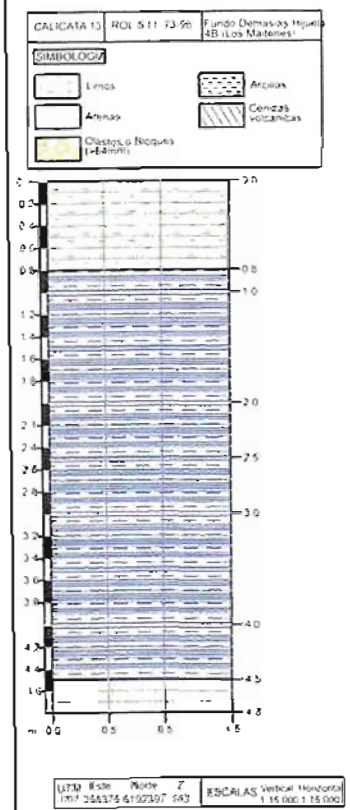
(CH)
Arcilla azulada oscura, plástica con humedad. Sin presencia de líticos



ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.12 / 0	D.S.	M.M.	NOV. 2014

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍAS



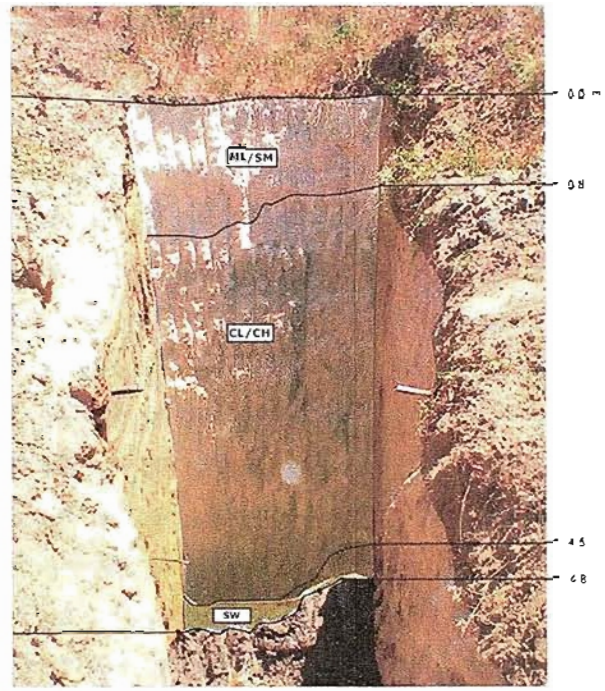
CATEGORIA USCS:
Litología

(ML/SM)

Cobertura café con raíces y restos orgánicos, arena media con limos no plástica

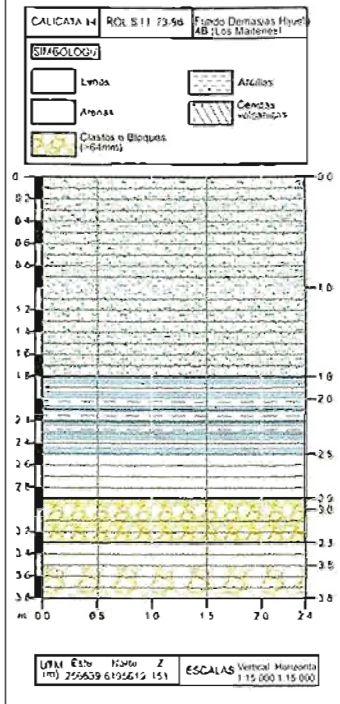
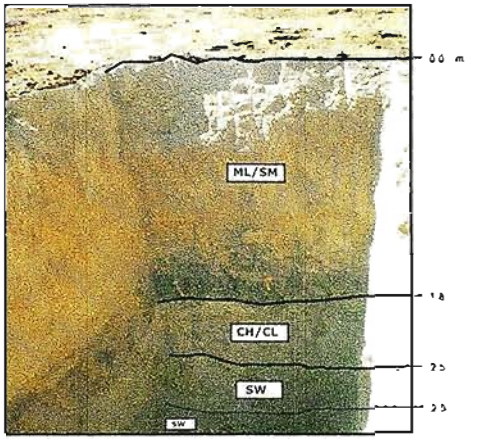
(CL/CH)

Arcilla limosa de plasticidad media con color café se advierte presencia de raíces. Con lente de 2.2 m de arcilla de alta plasticidad con presencia de lítico de cuarzo de 15cm con color amarillo a rojo cobre. Presencia de raíces.



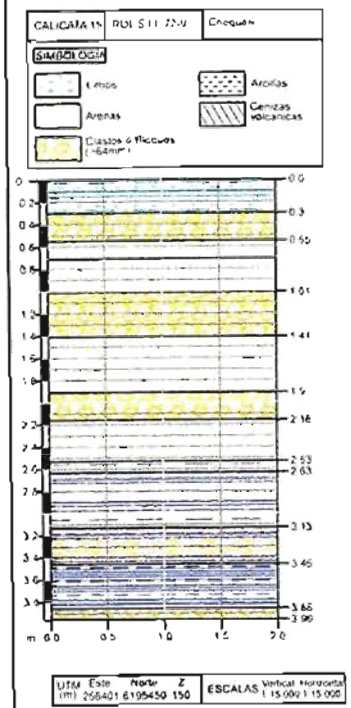
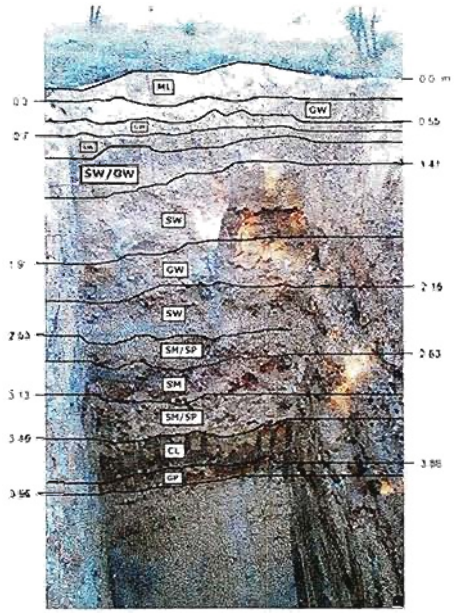
ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO
RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.13 / 0	D.S.	M.M.	NOV 2014

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍAS
	(ML/SM) Cobertura con raíces, arena fina con limos sin humedad y baja plasticidad sin presencia de micas (ML/SM) Arcilla de color gris oscuro, plástica con raíces de hasta 13cm de diámetro. Con presencia de roca subordinada de 23 cm de forma angulosa. Presencia de micas < 4cm (SW) Arena fina color gris claro sin humedad y sin presencia de raíces (SW) Arena fina color gris claro con gravas de 1 a 7 cm, con presencia de raíces y sin humedad (SW) Grava de gran tamaño color [illegible] con arena	

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.14 / 0	D.S.	M.M.	NOV. 2014

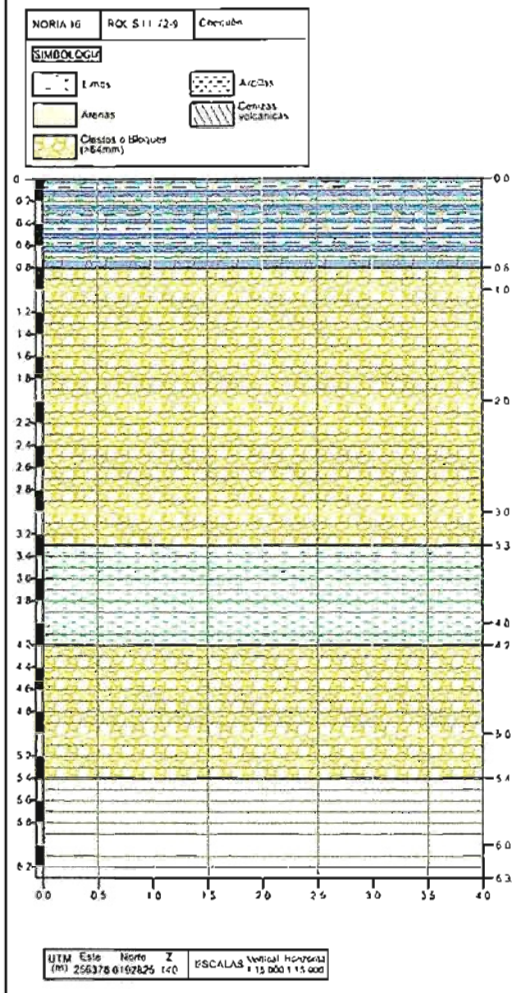
ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO
RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍAS
		

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.15 / 0	D.S.	M.M.	NOV. 2014

LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ANEXO FOTOGRAFÍAS



(CATEGORIA USCS)
Litología

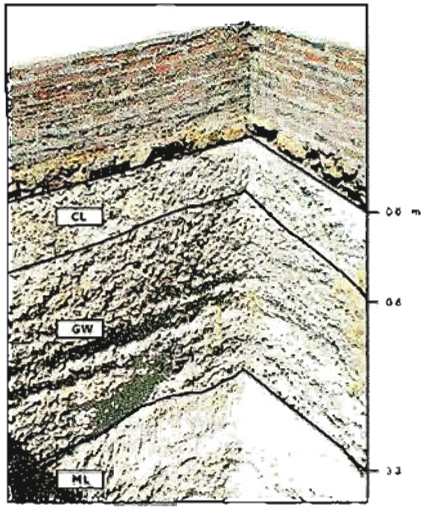
(CL)
Arcilla limos con gravas con presencia de raíces y restos orgánicos

(GW)
Gravas gruesas <14cm con arenas color gris claro sin presencia de arcilla

(ML)
Limo arena fina compacta no humeda de color gris

(GW)
Grava gruesa con arena gris claro de <14cm sin presencia de arcilla

(SW)
Arena media negra no plastica humeda



ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.	LÁMINA/VERSIÓN	DIBUJÓ	CONTROLÓ	FECHA
	AnexoD.16 / 0	D.S.	M.M.	NOV. 2014

ANEXO E

PERMEÁMETRO DE GUELPH

El método del permeámetro de Guelph consiste en cavar un pequeño pozo cilíndrico y saturarlo con agua, para luego mantener constante la altura de agua dentro del pozo y es uno de los métodos más precisos para medir la capacidad de infiltración de un suelo a nivel constante.

El permeámetro funciona con el principio de Mariotte. Este principio señala que si se tiene un recipiente lleno de agua y cerrado completamente, a excepción de una vara hueca que conecta verticalmente el exterior del recipiente con su interior por la parte superior, y además se abre un agujero por el costado o por la parte inferior del recipiente, entonces mientras el nivel de agua dentro del recipiente se encuentre a una altura superior a la parte más baja de la vara, el nivel de agua que salga tendrá velocidad constante e igual a $\sqrt{2 \cdot g \cdot h}$, con h la altura desde donde sale el agua hasta la parte inferior de la vara que no se debe mover, además existe un ingreso de aire a través del tubo.

En efecto, de acuerdo con la ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 + \rho_1 \cdot v_1^2/2 = P_2 + \rho_2 \cdot g \cdot h_2 + \rho_2 \cdot v_2^2/2$$

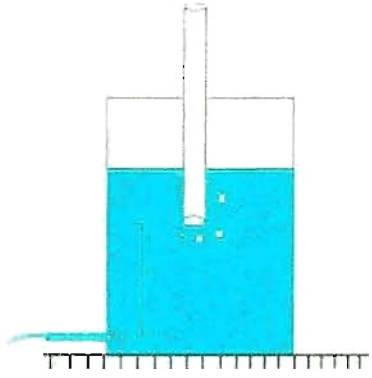
Al aplicarla a los puntos 1 (en la parte inferior de la bombilla) y 2 (sección de salida del agua del recipiente) es posible despejar v_2, y por ende, el caudal de salida.

En efecto, debido a que en ambos puntos la presión es la atmosférica, la densidad del fluido es la misma, la v_1 es igual a cero y si se fija la altura cero para h_2, entonces nos queda la velocidad indicada.

Cuando el nivel de agua alcance la parte inferior de la vara, entonces se produce un cambio en el comportamiento del fenómeno. Entonces la velocidad es variable y se rige por la ecuación de Torricelli. Esta vez el valor de h es igual a la altura desde el orificio de salida de agua hasta el nivel superior de agua en el recipiente, el cuál varía al ir perdiendo agua.

En la Figura 1 se adjunta una imagen de la botella de Mariotte.

Figura 1: Botella de Mariotte.



El permeámetro es un instrumento que funciona siguiendo el mismo principio físico, que permite calcular la velocidad de salida, y a la vez el caudal, a través de una regla y área del reservorio conocida. Como el nivel en el pozo se mantiene constante, se deduce que el caudal que entrega el permeámetro es el mismo caudal que se infiltra.

1.1.1 Procedimiento de Ensayo de Infiltración

El permeámetro empleado en la medición de la capacidad de infiltración en diversos puntos del área de estudio es el que se muestra en la Figura 2.

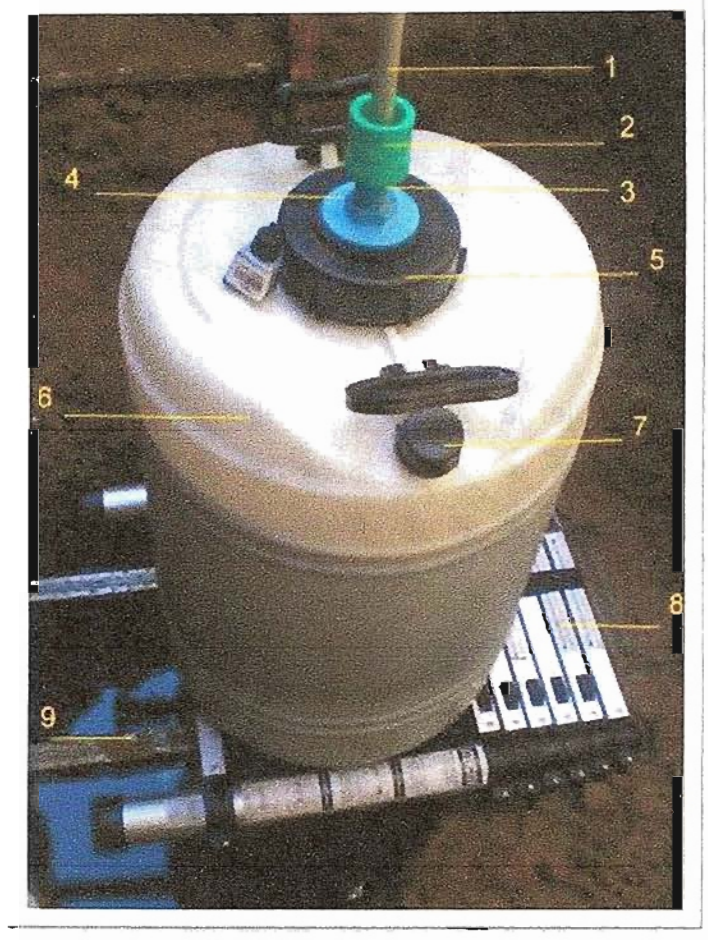
Uso del permeámetro de Guelph.

Se compone en total de 16 piezas las cuales aparecen detalladas a continuación.

1. Tubo de aluminio por donde entra aire al reservorio
2. Sellador con el cual se ajusta la altura del tubo y el nivel de agua en el pozo
3. Goma cónica que impide que entre aire por ese lugar
4. Unión sellador y tapa
5. Tapa que cierra el sistema
6. Reservorio de agua de 35 (cm) de diámetro con una capacidad de 50 litros.
7. Tapa lateral por donde se alimenta con agua, previo a la infiltración.
8. Escalera usada de apoyo.

9. Base de aluminio que sostiene el permeámetro

Figura 2: Permeámetro de Guelph.



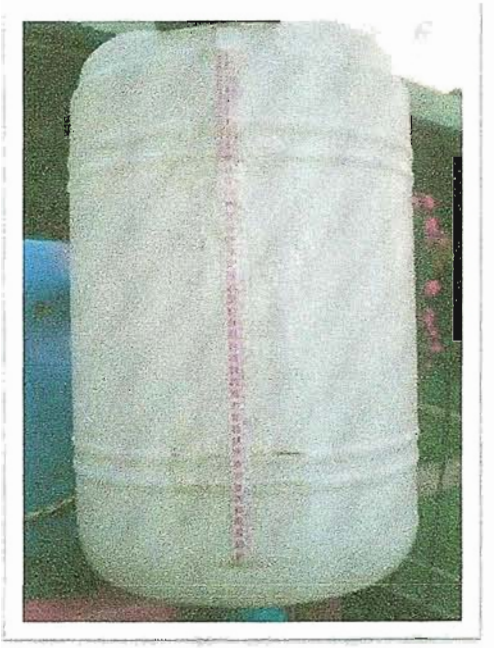
Por el costado se encuentra la regleta que se aprecia de mejor manera en la Figura 3.

En la Figura 4 se puede observar la parte inferior del permeámetro junto con sus piezas que aparecen detalladas.

1. Tuerca selladora del sistema.
2. Salida de estanque de 2".
3. Unión reductora de 2" a ¾".
4. Tubo que conecta la unión reductora y la válvula.
5. Válvula de bola de ¾".

6. Tubo de salida que conecta la válvula con el codo.
7. Codo por donde sale el agua del permeámetro de 3/4".

Figura 3: Regla adosada al permeámetro.



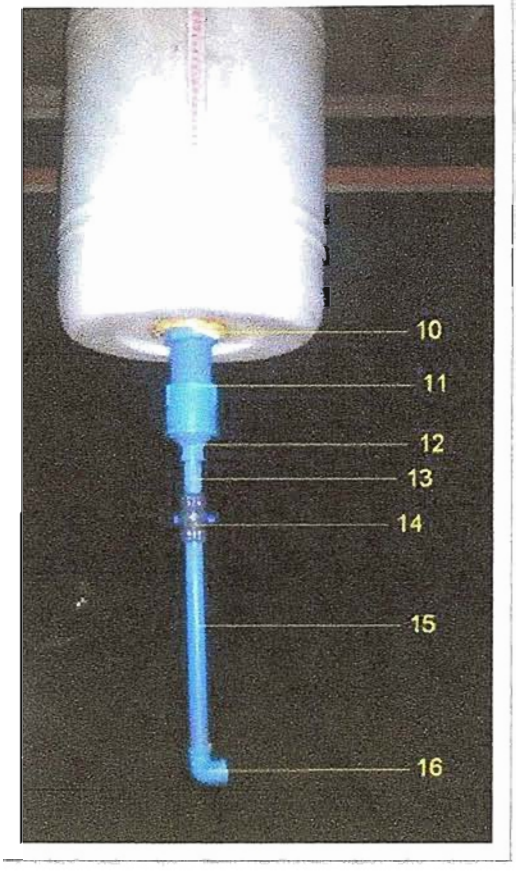
Desde la pieza 10 hasta la pieza 16 el instrumento mide 60 (cm) de largo.

El procedimiento que se utilizó consta de los siguientes pasos:

1. Se recomienda realizar una calicata de 1,0 (m) x 1,0 (m) de base y hasta la profundidad a la cual se encuentra el suelo cuya capacidad de infiltración se desea medir.
2. Se debe lograr que la superficie del fondo de la calicata corresponda a un plano horizontal, luego se realiza una excavación cilíndrica de al menos 60 (cm) de diámetro y 60 cm de profundidad.
3. Saturar el suelo que rodea al cilindro durante tres horas con agua (tiempo estimado) antes de iniciar las mediciones. Esta condición se verificará al observar que el agua no se infiltrará rápidamente. Luego de saturado el terreno se deben hacer mediciones de altura y tiempo para un descenso de

nivel cada 2 cm, aproximadamente, registrado en la regleta del permeámetro, dependiendo de la velocidad con que se infiltre el agua.

Figura 4: Permeámetro de Guelph, sección inferior.



4. El procedimiento se debe realizar idealmente para dos alturas de agua distintas en la excavación cilíndrica obteniendo para cada una de ellas un conjunto de valores Kfs.
5. Aplicar alguno de los métodos matemáticos como el de Glover, Laplace o Reynolds. La siguiente es la ecuación de Glover:

$$K_{fs} = \frac{Q \cdot C}{2 \cdot \pi \cdot H^2}$$

Q = Caudal (cm^3/s)

K_{fs} = Conductividad Hidráulica (cm/s)

A_{ef} = Área efectiva de infiltración (cm^2)

H = Altura del pozo desde el fondo de este (cm)

$$C = 4 \cdot [{}^{1}/_{2} \cdot \operatorname{asenh}\left({}^{H}/_{(2 \cdot R)}\right) - \sqrt{\left({}^{R}/_{H}\right)^2 + {}^{1}/_{4}} + {}^{R}/_{H}]$$

R = Radio del pozo (cm)

Por su parte, las ecuaciones de Laplace y Reynolds son, respectivamente:

$$K_{fs} = \frac{Q \cdot C}{2 \cdot \pi \cdot H^2 + \pi \cdot R^2 \cdot C}$$

$$K_{fs} = \frac{Q \cdot \alpha \cdot C}{2 \cdot \pi \cdot H^2 \cdot \alpha + \pi \cdot R^2 \cdot C \cdot \alpha + 2 \cdot \pi \cdot H}$$

α = Efecto de la zona no saturada que rodea el pozo (cm^{-1})

Se adjunta la Tabla 1 con los valores más característicos de α

Tabla 1: Valores de α para diversos tipos de suelos.

Categoría del medio poroso	α (cm^{-1})
Materiales arcillosos, poco estructurados, compactos.	0,01
Suelos que tienen estructura fina y desestructurada.	0,04
Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas.	0,12
Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos.	0,36

Estos métodos se diferencian en los tipos de flujos que consideran, ya que el caudal total Q se compone de tres flujos, que son: flujo a través de las paredes por presión, flujo a través de la base por presión y flujo gravitacional. El método de Glover utiliza los dos primeros y el método de Laplace los tres. Se puede constatar que el método de Reynolds es el más completo ya que además considera el efecto de la zona no saturada que rodea el pozo.

ANEXO F

NORMA DE CALIDAD DE AGUAS

Norma Chilena Oficial Nº 1.333 Of. 78 de 1978 (NCh-1.333)

1.1 Antecedentes generales

El potencial uso de una fuente de agua para la recarga artificial de un acuífero depende de que los parámetros físicos, químicos y biológicos, cumplan con los requisitos asociados a su uso, en este caso para riego, por lo que aplica la NCh-1.333.

Debido a la necesidad de controlar enfermedades gastroentéricas como fiebre tifoidea, hepatitis, entre otras, desde el año 1983 se crea la normativa (Resolución 350/83 SESMA y la ampliación de ésta, la Resolución 10.111/91, SESMA) para controlar el riesgo que presentan determinadas hortalizas y frutas que crecen bajo y a ras de tierra, y que eran regadas por cauces superficiales (canales de regadío), que superaban los 1000 "Coliformes Fecales" por 100 ml de agua, establecido por la NCh-1.333/78 "Requisitos de calidad del Agua para diferentes usos", lo que contaminaba estas hortalizas y frutas (Zanjón de la Aguada, río Mapocho, río Maipo, etc.). Luego con la llegada del "vibrio cholerae" a nuestro país (1991) se incrementaron las medidas sanitarias, para realizar fiscalización a los predios agrícolas que cultivan hortalizas y frutas que crecen a ras y bajo suelo.

Para autorizar un predio agrícola que cultiva hortalizas que crecen a ras y bajo suelo, según los Decretos 256/91 y 105/97, debe contar con autorización expresa para ello, es decir, para su formalización (autorización sanitaria) se requiere lo siguiente:

- Agua de riego debe ser de pozo.
- Esta agua debe tener calidad microbiológica certificada.
- La calidad de las aguas de pozo es sanitariamente aceptable cuando todas las muestras revelan ausencia de coliformes fecales en el 80% de ellas. Por ejemplo, si se toman 5 muestras, una de ellas puede tener presencia de

coliformes fecales, pero no debe sobrepasar los 1.000,0 coliformes por 100 ml.

- Las muestras deben ser tomadas por un laboratorio idóneo a juicio del correspondiente Servicio de Salud.
- Cada una de las etapas del proceso, así como los registros de los controles sanitarios, serán susceptibles de ser inspeccionados en cualquier momento por los Servicios de Salud.
- La Autoridad sanitaria podrá en todo momento tomar muestras y verificar la calidad microbiológica del o los pozos utilizados para el riego y de las hortalizas y frutas (envasado, transporte o expendio).

Por tanto, es imprescindible realizar una caracterización química del agua que recibirá la infiltración tanto como el agua que será infiltrada, ya que finalmente esta será utilizada para el regadío de predios agrícolas de Marchigüe (Región de O'Higgins).

Eventualmente podría ser necesario recomendar el uso de tecnologías para el tratamiento de aguas de riego: Ozono; Radiación Ultravioleta; Membranas, Micro Filtración, Osmosis Inversa; Cloración; Precipitación Química (eliminación de sólidos suspendidos con agentes floculantes); Fotocatálisis; etc.

1.2 Aspectos Técnicos de la Normativa

Esta norma fue elaborada y dictada por el Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile), órgano encargado del estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. La NCh-1.333, sobre requisitos de calidad del agua para diferentes usos, no sería jurídicamente una norma de calidad ambiental sino que es un estándar para el uso del agua, no del recurso hídrico en sí mismo.

Este estándar de uso fue declarado Norma Oficial de la República por Decreto Nº 867, de 1978, del Ministerio de Obras Públicas, publicada en el Diario Oficial del 5.07.78, posteriormente modificada por Decreto Nº 105, de 1987, del mismo Ministerio, publicado en el Diario Oficial del 22.05.87.

La norma establece los requisitos de calidad para los siguientes usos de las aguas:

a) agua para consumo humano;
b) agua para la bebida de animales;
c) riego;
d) recreación y estética, con las siguientes distinciones:
   - estética;
   - recreación con contacto directo;
   - recreación sin contacto directo;
e) vida acuática.

En el acápite 6 contempla los requisitos para el agua de riego, estableciendo requisitos químicos y bacteriológicos.

Entre los requisitos químicos se refiere a los siguientes aspectos específicos:

- pH, el que debe situarse entre los valores 5,5 y 9,0;
- elementos químicos, en valores máximos permisibles, pudiendo el Ministerio de Obras Públicas autorizar valores mayores o menores para los límites máximos, mediante resolución fundada para casos calificados;
- razón de adsorción de sodio, que la autoridad competente deberá establecer en cada caso;
- conductividad específica y sólidos disueltos totales, estableciéndose una tabla con una clasificación de aguas para riego según su salinidad;
- pesticidas, distinguiendo entre herbicidas, debiendo la autoridad competente pronunciarse en cada caso específico; e insecticidas, los que no son considerados perniciosos para el agua de riego.

En cuanto a los requisitos bacteriológicos, la norma establece que la concentración de los coliformes fecales en aguas de riego destinadas al cultivo de frutas y verduras que se desarrollen a ras de suelo y que habitualmente se

consumen en estado crudo, debe ser menor o igual a 1.000,0 coliformes fecales por cada 100 (ml) de agua muestreada.

1.2.1 Aplicabilidad de la NCh-1.333 relativo a efluentes

La NCh Oficial Nº 1.333, ya citada en cuanto a su contenido normativo en los párrafos precedentes, se denomina "Requisitos de calidad de agua para diferentes usos". Por lo tanto, se debe reconocer que existe una finalidad de la norma, además, de un campo de aplicación.

En cuanto a la finalidad de la norma, la misma Publicación Oficial indica que "esta norma fija criterios de calidad de agua [...], *según el uso determinado*". Es decir, contempla diferentes criterios (científicos) de calidad del agua según el uso que se les asigne a dichas aguas (consumo humano, bebida de animales, riego, recreación y estética, vida acuática), lo que ya fue mencionado en el acápite anterior 6.5.3.2 "Aspectos técnicos de la Normativa". Agrega luego, que "estos criterios tienen por objeto proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen a usos específicos, de la degradación producida por la contaminación".

En seguida, en cuanto a su campo de aplicación, el último párrafo establece que el "*vaciamiento de resíduos contaminantes a masas o cursos de agua* deberá ajustarse a los requerimientos de calidad especificados para cada uso [...]". De acuerdo con lo anterior, esta norma debería aplicarse únicamente a aquellas aguas con residuos contaminantes destinadas a ser vaciadas en masas o cursos de aguas, lugares donde precisamente se capturan las aguas destinadas a riego y a consumo humano y de animales o de otro uso definido en la norma. Estos cursos y cuerpos de agua deben, además, presentar la característica de "llevar" aguas destinadas al uso de terceros, o sea, ser cauces públicos, o ser utilizadas para usos que involucran a terceros a través de la venta o consumo de productos. Por ejemplo, si el agua fuera utilizada para regar hortalizas que luego serían hervidas, no debería ser aplicable la norma de riego en cuestión.

Por ende, esta norma establece una exigencia de calidad de las aguas que debe darse necesariamente por la relación de dos factores: (a) vaciamiento de aguas

con residuos contaminantes a masas o cursos de agua y (b) el uso específico que se les dará a esas aguas (Favero y Katz, 1998).

Así, según se desprende del análisis de los párrafos anteriores, el ámbito de protección de esta norma consiste en establecer diferentes requisitos de calidad de las aguas de acuerdo al uso específico que se les dará, partiendo de la base que son captadas desde los cursos o masas de agua. Por tanto, el presente proyecto, al considerar como fundamental la extracción de agua excedente proveniente de alguna(as) fuente(s) ubicadas en el área de estudio para infiltrar mediante laguna o pozo al acuífero subterráneo, necesaria y obligatoriamente queda bajo la jurisdicción de esta norma.

Los diferentes usos de las aguas implican el cumplimiento de determinados estándares de calidad, lo cual se manifiesta en las diversas concentraciones que se especifican para los distintos elementos químicos. A continuación se presenta el estándar extraído de la NCh-1.333.

El uso determinado o específico. Dentro de los usos del agua a los que se aplica esta norma se señalan: a) agua para consumo humano; b) agua para la bebida de los animales; c) riego; d) recreación y estética; y, e) vida acuática.

Como se desprende a primera vista de esta enumeración de usos del agua, la norma establece aquellos usos (en orden jerárquico) donde se requiere de una "alta exigencia" en cuanto a la calidad de las aguas, ya que en todas las formas de estos usos potenciales del agua (suponiendo que se produjera una alteración por sobre los niveles aceptables predefinidos, lo que sería "contaminación" según la Ley Nº 19.300) estaría en riesgo directa o indirectamente la vida o salud de las personas. El orden jerárquico estaría dado por el mayor o menor grado de riesgo inmediato que representa para el hombre el uso del agua en tales formas.

Tabla 1: Estándar para agua de riego. (Fuente: Norma Chilena Oficial Nº 1.333 (INN, 1978))

ELEMENTO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO [1]
pH		5.5-9.0
Aluminio	mg/l	5.0
Arsénico	mg/l	0.1
Bario	mg/l	4.0
Berilio	mg/l	0.1
Boro	mg/l	0.75
Cadmio	mg/l	0.01
Cianuro	mg/l	0.2
Cloruros	mg/l	200.0
Cobalto	mg/l	0.05
Cobre	mg/l	0.2
Cromo	mg/l	0.1
Fluoruro	mg/l	1.0
Hierro	mg/l	5.0
Litio	mg/l	2.5
Litio (cítricos)	mg/l	0.075
Manganeso	mg/l	0.2
Mercurio	mg/l	0.001
Molibdeno	mg/l	0.01
Níquel	mg/l	0.2
Plata	mg/l	0.2
Plomo	mg/l	5.0
Selenio	mg/l	0.02
Sodio porcentual	% de Na	35.0
Sulfatos	mg/l	250.0
Vanadio	mg/l	0.1
Zinc	mg/l	2.0
Coliformes fecales	NMP/100ml	1000

[1] El Ministerio de Obras Públicas podrá autorizar valores mayores o menores de estos elementos, exceptos pH y coliformes fecales.

Adicionalmente, es importante esclarecer la finalidad perseguida por la Norma Chilena Oficial Nº 1.333, al establecer distintas calidades de aguas según sus usos posibles. En este sentido, los factores regulados consideran distintos estándares, según el uso último de las aguas. Así, por ejemplo, las letras a), b), c) y parte de la d) (recreación con contacto directo) tienen estándares de

calidad destinados a proteger la vida humana. Las demás tienen por finalidad proteger la estética de los cursos o masas de agua y la vida acuática.

Tabla 2: Estándar para agua de riego (C.E. y SDT). (Fuente: Norma Chilena Oficial Nº 1.333 (INN, 1978))

CLASIFICACIÓN	C.E. (*c)	SDT (*s mg/l a 105ºC)
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	c ≤ 750	s ≤ 500
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	750 < c ≤ 1500	500 < s ≤ 1000
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	1500 < c ≤ 3000	1000 < s ≤ 2000
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	3000 < c ≤ 7500	2000 < s ≤ 5000

C.E.: conductividad específica, sigla "c" SDT: sólidos disueltos totales, sigla "s"

El término "riego" usado en esta norma no está definido y se utiliza en su sentido genérico y natural. Por lo tanto, no se especifica a qué tipo de riego se refiere y, en principio, se aplicaría a todo tipo de plantaciones, lo cual obviamente significa que deben ser valores promedio, y que, por lo tanto, deberían ser sujeto de análisis en función de lo que se regaría y dónde se regaría. Sin embargo, a partir del uso que se da a la norma, su finalidad última y por las demás razones que se analizan a continuación, el acápite 6 de la NCh Oficial Nº 1.333 "Requisito para el Agua de Riego", se aplicaría únicamente al agua para riego de usos agrícolas u hortofrutícolas, esto es, para el riego de cultivos destinados a producir alimentos para el consumo humano, o de animales, que luego son utilizados para el consumo humano. Por ende, se trata de prevenir procesos de contaminación que pudieran poner en riesgo la vida o salud de las personas.

Según la diferencia establecida por esta norma, radicada en los distintos usos del agua, y por su finalidad intrínseca, se puede afirmar que en cuanto a sus potenciales consecuencias, el riego de una plantación de hortalizas, de un trigal o de árboles frutales, por ejemplo, son completamente diferentes al riego de una plantación de eucaliptos. Sólo en los primeros casos se podría poner en riesgo potencial, y con distintos niveles, la vida o salud de las personas, toda vez que las aguas recibieran descargas de substancias contaminantes.

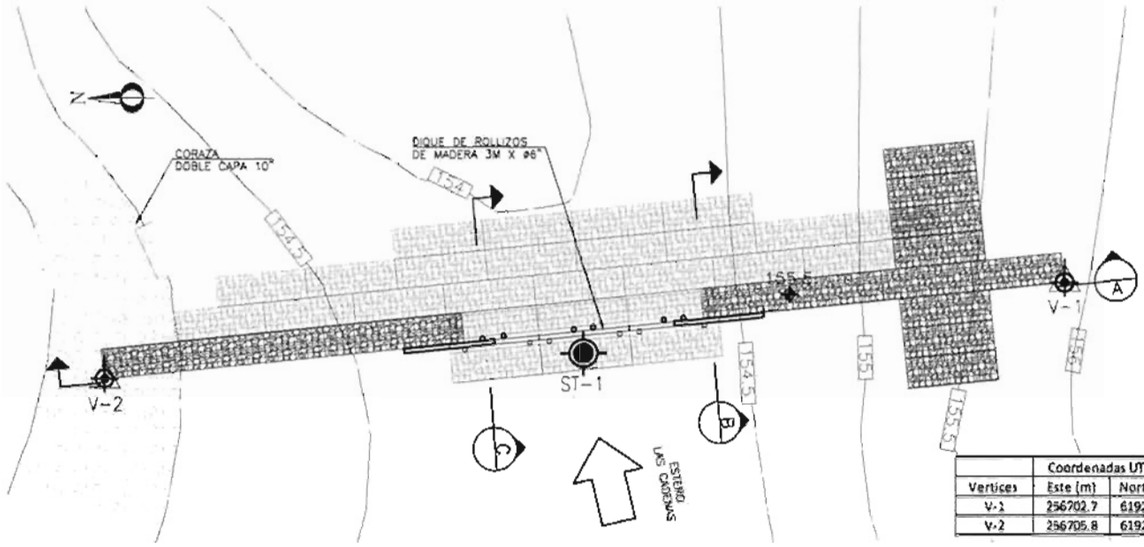
En la Tabla 2 se resume este acápite 6 antes citado, donde se establece cuáles deben ser las concentraciones máximas de elementos químicos en el agua para riego. Estas concentraciones son altamente exigentes, en consideración a que el ámbito de protección de la norma es la vida y salud de las personas, siendo solo superadas en exigencia por los requerimientos de la Norma Chilena Oficial Nº409 de agua potable. Además, en el mismo acápite 6 se regulan los requisitos bacteriológicos, es decir, las concentraciones de coliformes fecales "en aguas de riego destinadas al cultivo de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo". Todo lo anterior confirma que el objeto de esta normativa de aguas para riego se encuentra en la protección de la vida y salud de las personas, pues en el evento de que el agua de riego esté contaminada, afecta directa o indirectamente la salud de las personas por el consumo de productos finales, por ejemplo, agrícola u hortifrutícolas.

En consecuencia, si en la práctica no se diera un "riego" en el sentido que lo trata la NCh Nº 1.333, esto es, un riego destinado a cultivos agrícolas y hortifrutícolas para el consumo humano (sea directa o indirectamente) o estas aguas no fueran vaciadas a masas o cursos de aguas de las cuales se captarán aguas para el riego de cultivos agrícolas u hortifrutícolas destinados al consumo humano, esta norma no sería aplicable, y además no operaría en este caso como norma de calidad ambiental.

ANEXO G

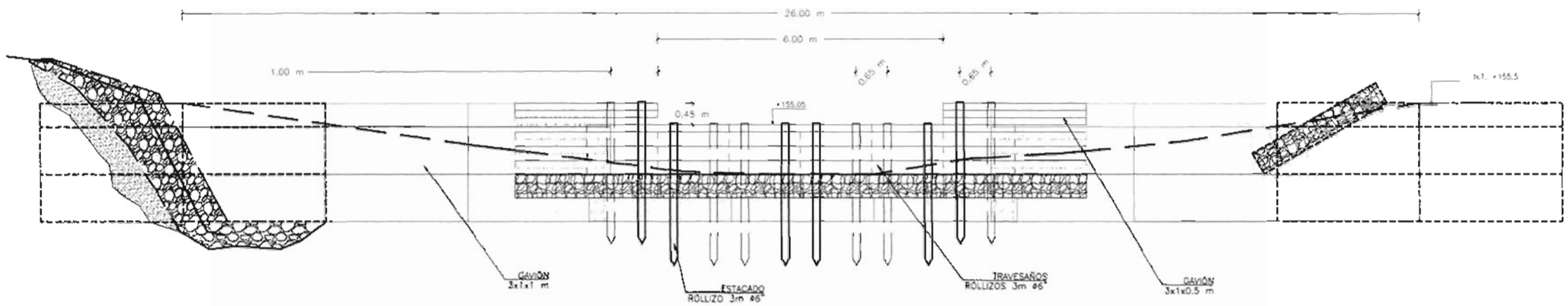
PLANOS DE OBRAS MURO

PLANTA DETALLE DIQUE
ESCALA 1:100



	Coordenadas UTM 84	
Vertices	Este (m)	Norte (m)
V-1	256702.7	6192467.5
V-2	256705.8	6192436.9

DETALLE CORTE A-A ELEVACIÓN INSTALACIÓN DE DIQUE
ESCALA 1:50



COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

CON POTENCIAL CONSOLIDACIONES LIMITADA

ESTUDIO:
ESTUDIO BASICO
ANÁLISIS ALTERNATIVAS
PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

TITULO:
PLANO PLANTA DETALLE

ESCALA: LAS INDICADAS

REV 00

SISTEMA DE REFERENCIA UTM: UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR, ZONA 19

FUENTE CARTOGRAFICA: LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

FECHA: DICIEMBRE 2014

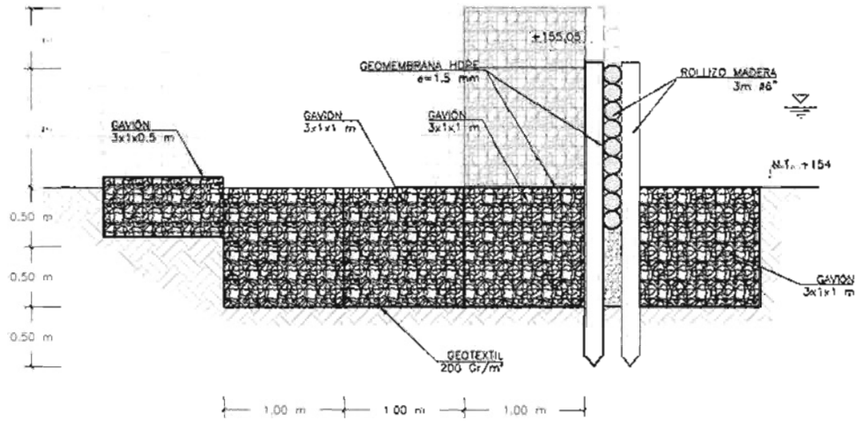
LAMINA: 1 - 4

DIBUJO: AAA

REVISO: AAA

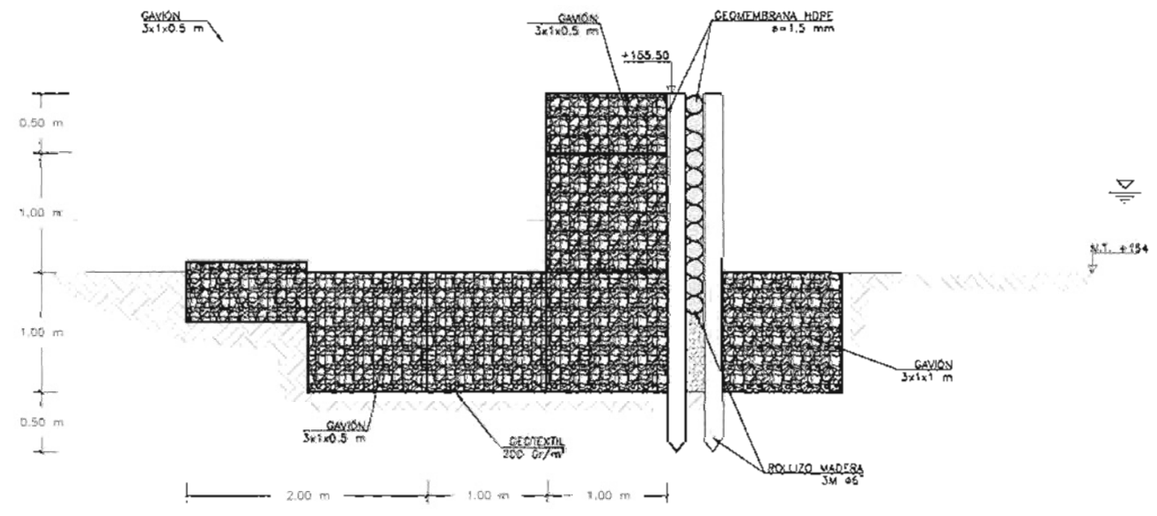
DETALLE CORTE C-C INSTALACIÓN DE DIQUE

ESCALA 1:25



DETALLE CORTE B-B INSTALACIÓN DE DIQUE

ESCALA 1:25



COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

CON POTENCIAL CONSULTORES LIMITADA

ESTUDIO:
ESTUDIO BÁSICO
ANÁLISIS ALTERNATIVAS
PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

TÍTULO:
PLANO DETALLE CORTES

ESCALA: LAS INDICADAS

SISTEMA DE REFERENCIA GRADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR, ZONA 19

FUENTE CARTOGRAFÍA: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

FECHA: DICIEMBRE 2014

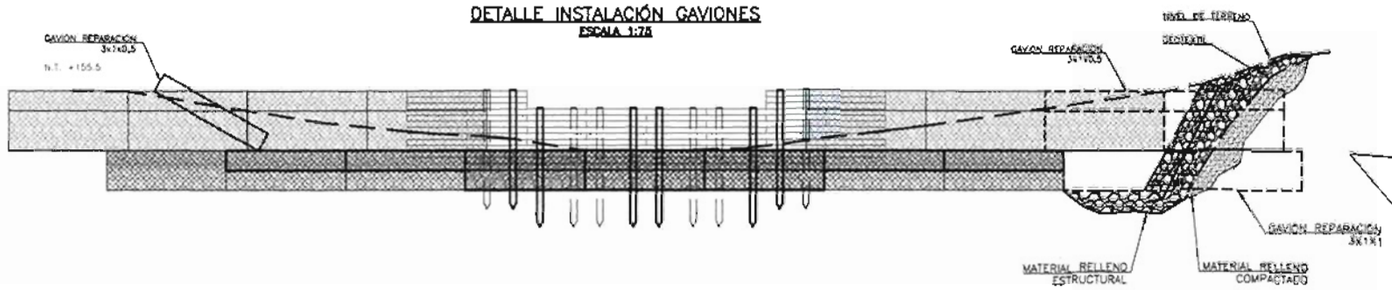
LÁMINA: 2 - 6

REV. 00

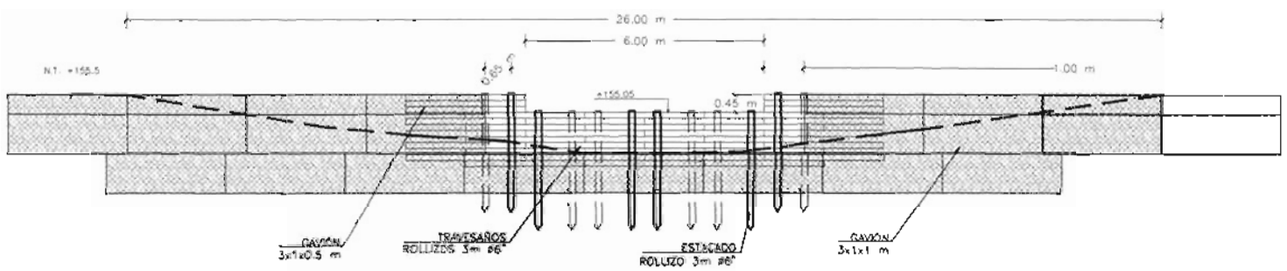
DIBUJO: R.A.M.

REVISO: A.A.M.

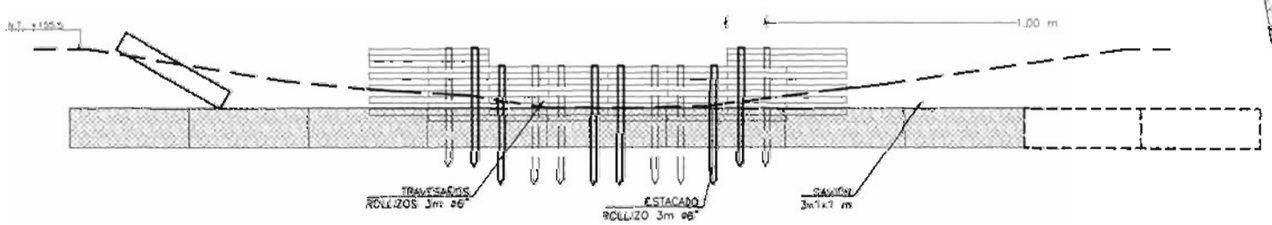
DETALLE INSTALACIÓN GAVIONES
ESCALA 1:75



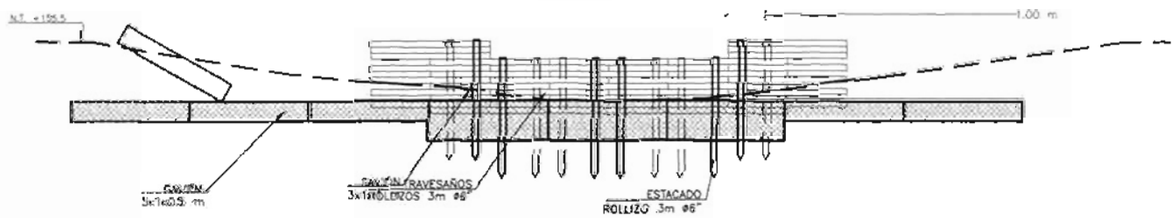
DETALLE INSTALACIÓN GAVIONES PRIMERA LINEA
ESCALA 1:75



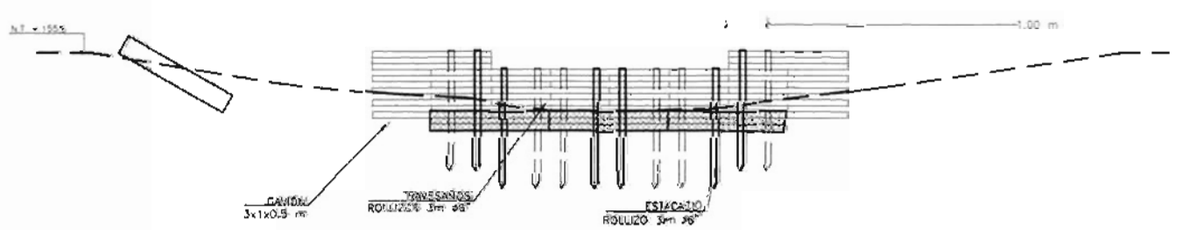
DETALLE INSTALACIÓN GAVIONES SEGUNDA LINEA
ESCALA 1:75



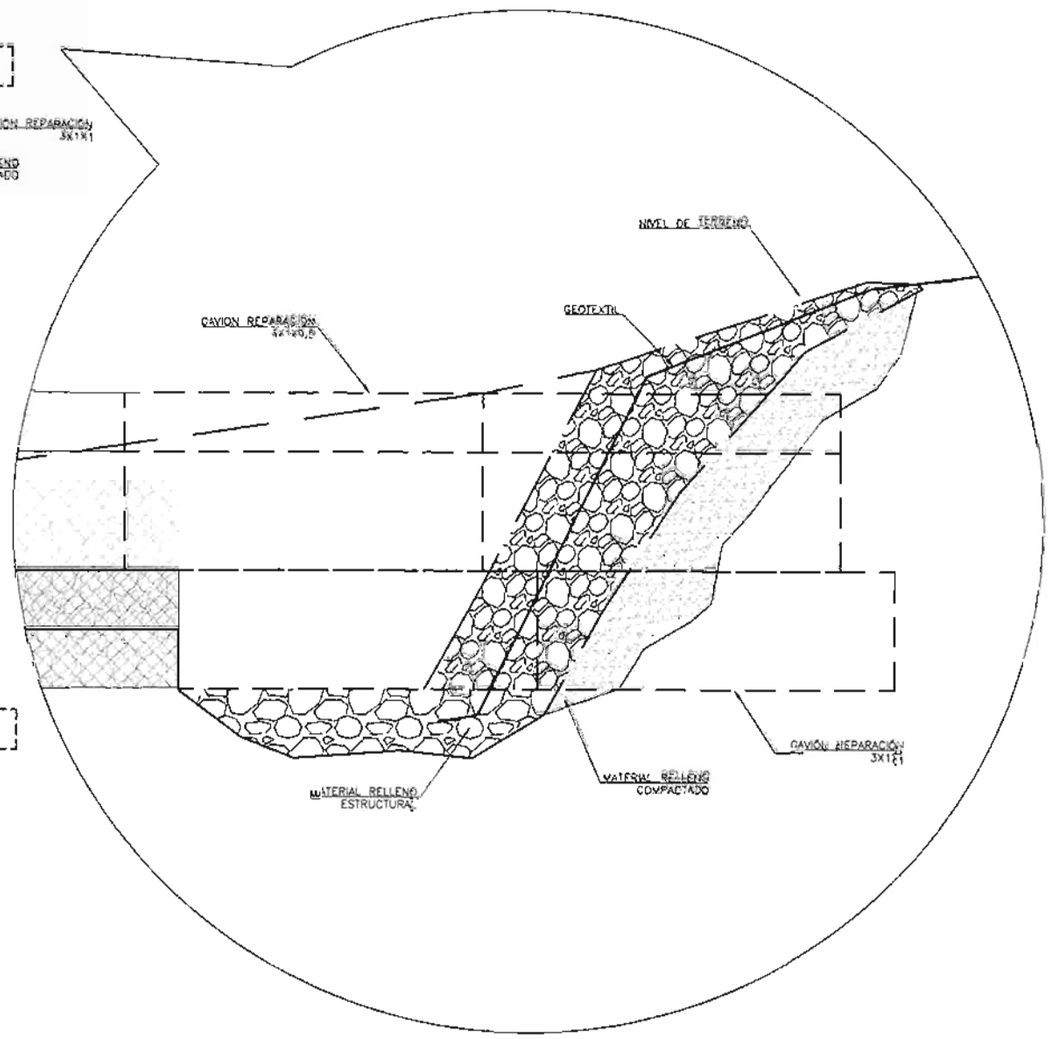
DETALLE INSTALACIÓN GAVIONES TERCERA LINEA
ESCALA 1:75



DETALLE INSTALACIÓN GAVIONES CUARTA LINEA
ESCALA 1:75



REPARACIÓN RIBERA NORTE
ESCALA 1:50



COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

ESTUDIO:
ESTUDIO BÁSICO
ANÁLISIS ALTERNATIVAS
PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

TITULO:
DETALLE DE INSTALACIÓN DE LINEAS DE GAVIONES Y REPARACIÓN MURO

CON POTENCIAL CONSULTORES LIMITADA

ESCALA: LAS INDICADAS
REV. 0.0

SISTEMA DE REFERENCIA SIRGAS
CARTOGRAFIA: TRANSVERSAL DE MERCATOR, ZONA 19

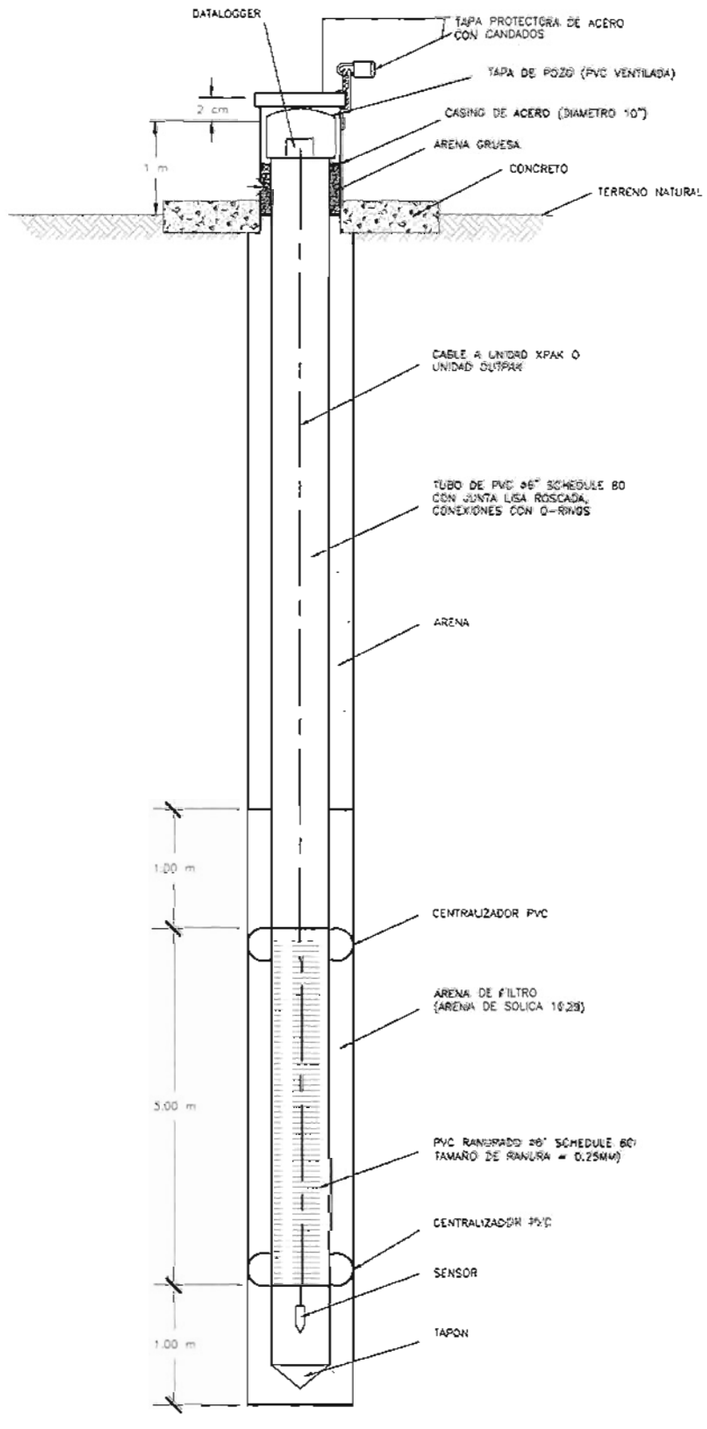
FUENTE CARTOGRAFIA:
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

FECHA: DICIEMBRE 2014
DIBUJO: R.A.H.

LÁMINA: 5 - 4
REVISO: K.A.V.

DETALLE INSTALACIÓN TÍPICA DE POZO DE MONITOREO

ESCALA 1:25



COMISION NACIONAL DE RIEGO	ESTUDIO: ESTUDIO BASICO ANALISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGUE	TITULO: DETALLE CONSTRUCCION E INSTALACION POZO MONITOREO		
CDM POTENCIAL CONSULTORES LIMITADA	ESCALA: S/E	DATUM DE REFERENCIA UTM: HUSO 19 DATUM: TRANSVERSAL DE MERCATOR 2000	FUENTE CARTOGRAFICA: LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO	FECHA: DICIEMBRE 2014
	REV 00			DIBUJO: R.A.H. REVISO: A.A.V.

ANEXO H

FICHAS ESTATIGRÁFICAS POZOS HABILITADOS

Tabla 1: Conductividad Hidráulica según Material.

Calcificación USCS	Conductividad Hidráulica (cm/s)
GP	1,00E-1
GW	1,00E-2
SP	1,00E-3
SM-SC	1,00E-4
CL	1,00E-5
ML-CL	1,00E-5
CH	1,00E-6

Figura 1: Permeabilidades Típicas Relacionadas para el Tipo de Materias del Estrato (Correlations of Soil Properties, Carter and Bentley, Pentech Press 1991)

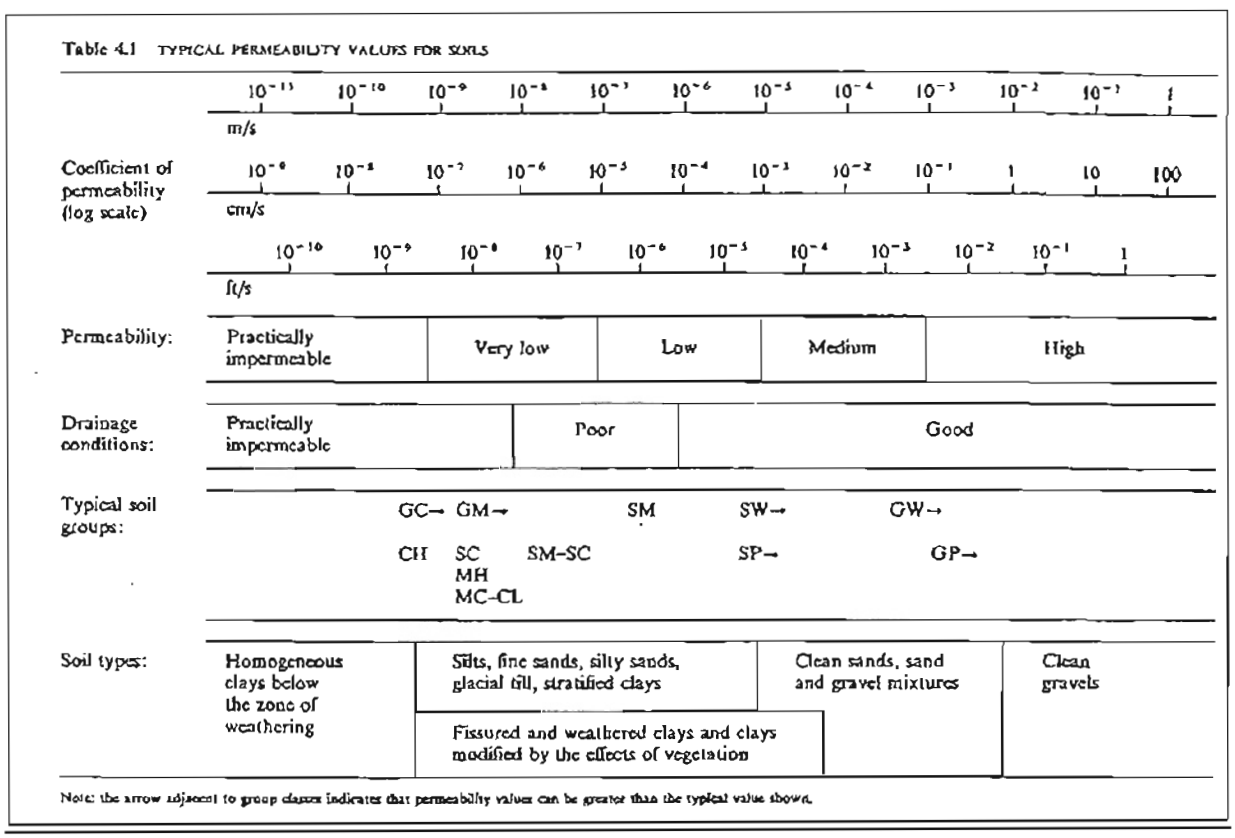


Lámina H.1: Información Pozo de Monitoreo (PM1)

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

Profundidad (m)	Unidad	Descripción litológica	Testigo Fotográfico
0	ML-CL	Cobertura vegetal café. Raíces y restos orgánicos. Arcilla limosa/Limo arcilloso. Humedad alta	
1	CH	Arcilla color café de plasticidad alta. Presenta bajo contenido de arena. Humedad media a alta. Consistencia media.	
2	CH	Arcilla color café claro de plasticidad alta. Presenta bajo a nulo contenido de arena. Humedad media a alta. Consistencia media.	
3	SM-SC	Arena arcillosa color café claro. Contenido de finos > 12% de plasticidad media. Humedad media. Compacidad media a suelta.	
4	SM-SC	Arena arcillosa color café claro. Contenido de finos > 12% de plasticidad media. Humedad media a alta. Compacidad media a suelta.	
5	SM-SC	Arena arcillosa color gris. Contenido de finos > 12%. Plasticidad media a baja. Humedad alta Compacidad media a suelta.	
6	SP	Arena color café claro (rubia) fina. Contenido de finos < 5% de baja a nula plasticidad. Humedad alta Compacidad media a suelta.	
7	SP	Arena gris fina. Contenido de finos < 5%. Finos de baja a nula plasticidad. Humedad alta. Compacidad media a suelta.	
8	SP	Arena gruesa color café. Presenta entre 5 y 10% de arcilla de plasticidad media. Humedad alta. Compacidad media a suelta.	
9	SP	Arena fina color café. Presenta entre 5 y 10% de arcilla de plasticidad media. Humedad alta. Compacidad media a suelta.	
10	CL	Arcilla color café grisáceo. Presenta entre 5 y 12 % de arena gruesa. Se observan gravas aisladas. Humedad alta. Consistencia media.	
11	GP	Se observan gravas entre 1 y 2" al final de la perforación. Humedad alta. Compacidad suelta.	
12			

Unidades USCS

GW SP OL
GP SM MH
GM SC CH
GC ML OH
SW CL

Detalles de localización		Detalles de la calicata	
Este UTM WGS84 19s (m)	256350	Nombre	PM1
Norte UTM WGS84 19s (m)	6192158	Fecha de levantamiento	
Elevación terreno (m s.n.m.)	156.3	Método de perforación	Tornillo de Arquímides
Rol predio (SII)	73-11	Norma clasificación	USCS
Nombre predio	Hj.4-A Fundo Demasias	Responsable	Alejandro Arenas

Lámina Anexo H.1	Versión 1
Dibujó D.S.	Controló M.M.
Fecha 12-2014	

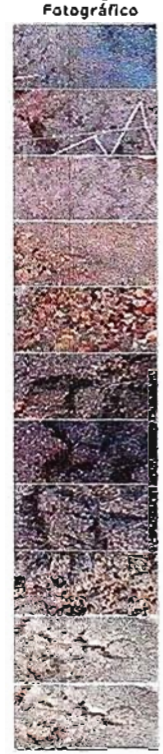
Lámina H.2: Información Pozo de Monitoreo (PM2)

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

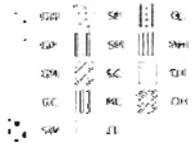
CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

Profundidad (m)	Unidad	Descripción litológica
0	ML-CL	Cobertura vegetal café. Raíces y restos orgánicos. Arcilla limosa/Limo arcilloso. Humedad alta.
1	CH	Arcilla color gris de plasticidad alta Presenta bajo a nulo contenido de arena fina. Humedad media a alta. Consistencia media.
2	CL	Arcilla arenosa de color café. Plasticidad alta. Contenido de arena fina > 12%. Humedad media. Consistencia media.
3	CL	Arcilla arenosa de color cafe. Plasticidad alta. Contenido de arena fina > 12% Humedad media Consistencia media.
4	SP	Arena fina color café. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad suelta.
5	SP	Arena gruesa color café claro (rubia) Presenta bajo a nulo contenido de finos. Gravas aisladas de 1". Humedad alta. Compacidad
6	SP	Arena gruesa gris. Presenta bajo a nulos contenido de finos. Humedad alta. Compacidad suelta.
7	SP	Arena fina a media gris. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media a suelta.
8	SP	Arena fina color café claro (rubia). Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.
9	SP	Arena fina color café claro (rubia). Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.
10	SP	Arena fina color café claro (rubia). Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.
11		

Testigo Fotográfico



Unidades USCS



Detalles de localizacion		Detalles de la calicata		Lámina	Versión
Este UTM WGS84 19s (m)	256572	Nombre	PM2	Anexo H.2	1
Norte UTM WGS84 19s (m)	6192463	Fecha de levantamiento		Dibujó	Controló
Elevacion terreno (m s.n.m)	156.3	Método de perforación	Tornillo de Arquímides	D S.	M.M.
Rol predio (SII)	73-96	Norma clasificacion	USCS	Fecha	
Nombre predio	Hj.4-B Fundo Demasías	Responsable	Alejandro Arenas	12-2014	

Lámina H.3: Información Pozo de Monitoreo (PM3)

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

Profundidad (m)	Unidad	Descripción litológica	Testigo Fotográfico
0	ML-CL	Cobertura vegetal café. Raices y restos orgánicos. Arcilla limosa/Limo arcilloso. Humedad alta.	
1	SP	Arena fina color café claro (rubia). Presenta bajo a nulo contenido de finos Humedad media a alta. Compacidad media.	
2	SP	Arena fina a media color café claro (rubia). Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
3	SP	Arena media color café grisácea. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
4	SP	Arena fina color gris. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
5	SP	Arena media color gris. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
6	SP	Arena fina color cafe grisáceo. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
7	SP	Arena fina a media color café claro (rubia). Presenta bajo a nulo contenido de finos . Humedad alta. Compacidad media.	
8	SP	Arena media a gruesa color café Presenta bajo a nulo contenido de finos. Gravas aisladas 1/2". Humedad alta.	
9	SP	Arena gruesa color cafe. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
10	GP	Grava arenosa color gris Presenta entre 5 y 12 % de arena media. Gravas de cantos subredondeados de tamaño entre 1 y 2", Humed	
11			

Unidades USCS

GW SP OL
GP SM MH
GM SC CH
GC ML OH
SW CL

Detalles de localización		Detalles de la calicata	
Este UTM WGS84 19s (m)	256412	Nombre	PM3
Norte UTM WGS84 19s (m)	6192369	Fecha de levantamiento	
Elevación terreno (m s.n.m.)	156.4	Método de perforación	Tornillo de Arquímides
Rol predio (SII)	73-96	Norma clasificacion	USCS
Nombre predio	Hj 4-B Fundo Demasias	Responsable	Alejandro Arenas

Lámina	Versión
Anexo H.3	1
Dibujó	Controló
D.S.	M.M.
Fecha	
12-2014	

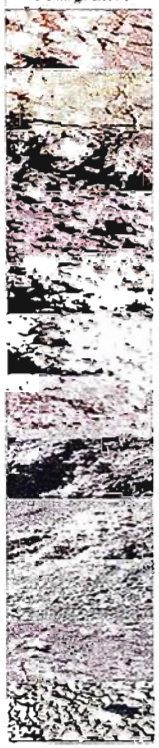
Lámina H.4: Información Pozo de Monitoreo (PM4)

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

Profundidad (m)	Unidad	Descripción litológica
0	ML-CL	Cobertura vegetal cafe. Raices y restos organicos. Arcilla limosa/Limo arcilloso. Humedad alta.
1	CH	Arcilla color cafe de plasticidad alta. Presenta bajo a nulo contenido de arena. Humedad media a alta. Consistencia media
2	CH	Arcilla color gris de plasticidad alta. Presenta bajo a nulo contenido de arena. Humedad media Consistencia media.
3	SP	Arena gruesa color café claro (rubia). Contenido finos arcillosos entre 5 y 12%. Plasticidad media Humedad media a alta. Compa
4	SP	Arena gruesa a media color cafe. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Se observan gravas aisladas de tamaño 1". Humedad alt
5	SP	Arena fina a media color gris. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.
6	SP	Arena gruesa color cafe claro (rubia). Presenta bajo a nulo contenido de finos Humedad alta. Compacidad media.
7	SP	Arena gruesa color cafe . Presenta bajo a nulo contenido de finos. Tamaño uniforme 1/2" tipo Maicillo. Humedad alta. Compacidad
8	SP	Arena media color gris amarillenta Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.
9	SP	Arena media color gris. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media
10	SP	Arena media color café grisácea. Contenido finos entre 5 y 10% Baja plasticidad Humedad alta. Compacidad media.
11	GW	Grava limpia color gris. Presenta cantos subredondeados y tamaño medio 1 1/2". Humedad alta. Compacidad media.
12		

Testigo Fotográfico



Unidades USCS

GW SP OL
GP SM MH
GM SC CH
GC ML OH
SW CL

Detalles de localización		Detalles de la calicata	
Este UTM WGS84 19s (m)	256390	Nombre	PM4
Norte UTM WGS84 19s (m)	6192486	Fecha de levantamiento	
Elevación terreno (m s.n.m.)	156.7	Método de perforación	Tornillo de Arquimides
Rol predio (SII)	73-96	Norma clasificacion	USCS
Nombre predio	Hj.4-B Fundo Demasias	Responsable	Alejandro Arenas

Lámina	Versión
Anexo H.4	1
Dibujó	**Controló**
D S.	M.M.
Fecha	
12-2014	

Lámina H.5: Información Pozo de Monitoreo (PM5)

ANÁLISIS ALTERNATIVAS PILOTO RECARGA ARTIFICIAL MARCHIGÜE

CON POTENCIAL CONSULTORES LTDA.

Profundidad (m)	Unidad	Descripción litológica	Testigo Fotográfico
0	ML-CL	Cobertura vegetal café. Raíces y restos orgánicos. Arcilla limosa/Limo arcilloso. Humedad alta.	
1	SM-SC	Arena arcillosa color café. Contenido de finos arcillosos > 12% . Plasticidad media. Humedad alta. Compacidad media.	
2	SP	Arena fina color café. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
3	CL	Arcilla arenosa de color café. Plasticidad media. Contenido de arena fina mayor a 12%. Humedad media. Consistencia media.	
4	CL	Arcilla de color cafe. Plasticidad media. Bajo a nulo contenido de arena. Humedad media. Consistencia media.	
5	SP	Arena fina color café claro (rubia). Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
6	SP	Arena media color café. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
7	SP	Arena media a gruesa color café. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
8	SP	Arena media a gruesa color café. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
9	SP	Arena gruesa color café amarillento. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
10	SP	Arena gruesa color café amarillento. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
11	SP	Arena gruesa color gris. Presenta bajo a nulo contenido de finos. Humedad alta. Compacidad media.	
12			

Unidades USCS

GW SP OL
GP SM MH
GM SC CH
GC ML OH
SW CL

Detalles de localización		Detalles de la calicata	
Este UTM WGS84 19s (m)	256791	Nombre	PM5
Norte UTM WGS84 19s (m)	6192398	Fecha de levantamiento	
Elevación terreno (m s.n.m.)	156.3	Método de perforación	Tornillo de Arquímides
Rol predio (SII)	72-3	Norma clasificación	USCS
Nombre predio	Sin Nombre	Responsable	Alejandro Arenas

Lámina Anexo	Versión
H.5	1
Dibujó	**Controló**
D.S.	M.M.
Fecha	
12-2014	

ANEXO I

VALORES REPRESENTATIVOS DE POROSIDAD

Tabla 1: Rango en valores de la porosidad total y efectiva (Domenico & Schwarz, 1997, p.15)

	Total Porosity (%)	Effective Porosity (%)
Anhydrite[1]	0.5-5	0.05-0.5
Chalk[1]	5-40	0.05-2
Limestone, dolomite[1]	0-40	0.1-5
Sandstone[1]	5-15	0.5-10
Shale[1]	1-10	0.5-5
Salt[1]	0.5	0.1
Granite[2]	0.1	0.0005
Fractured crystalline rock[2]	—	0.00005-0.01

[1] Data from Croff and others (1985).
[2] Data from Norton and Knapp (1977).

Tabla 2: Valores típicos de porosidad (Fitts, 2002, p.27).

Material	*n* (%)
Narrowly graded silt, sand, gravel	30–50
Widely graded silt, sand, gravel	20–35
Clay, clay–silt	35–60
Sandstone	5–30
Limestone, dolomite	0–40
Shale	0–10
Crystalline rock	0–10

Tabla 3: Rango de valores de porosidad (Freeze & Cherry, 1979, p.37)

	n(%)
Depósitos no consolidados	
Grava	24-40
Arena	25-50
Limo	25-50
Arcilla	40-70
Rocas	
Basalto fracturado	5-50
Limo kárstico	5-50
Dolomita	0-20
Roca cristalizada fracturada	0-10
Roca cristalina densa	0-5

Figura 1: Porosidad en función del diámetro del material (Marsily, 1986, p.36)

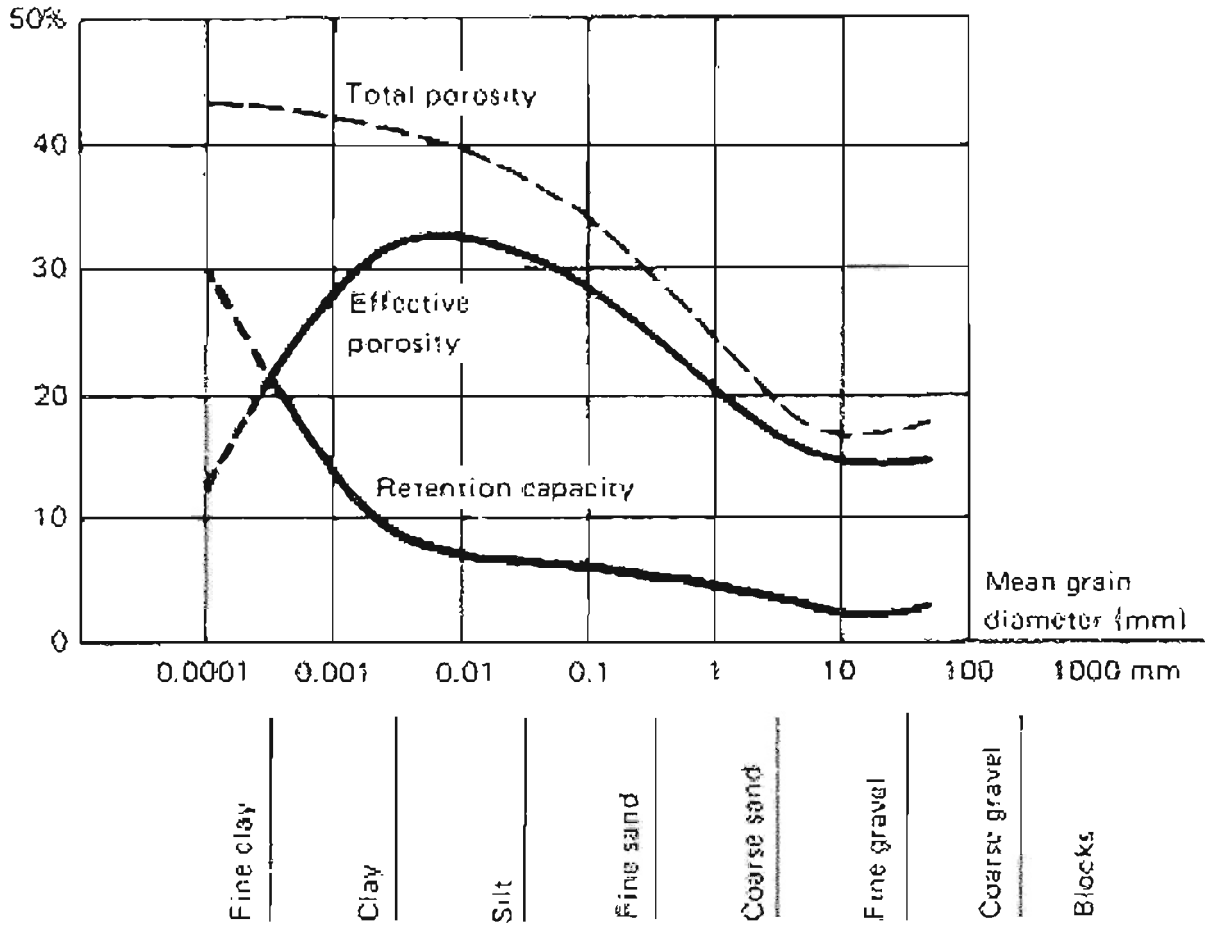


Tabla 4: Rango de valores de porosidad (Marsily, 1986, p.36)

Material	Porosity (%)
SEDIMENTARY	
Gravel, coarse	24-36
Gravel, fine	25-38
Sand, coarse	31-46
Sand, fine	26-53
Silt	34-61
Clay	34-60
SEDIMENTARY ROCKS	
Sandstone	5-30
Siltstone	21-41
Limestone, dolomite	0-40
Karst limestone	0-40
Shale	0-10
CRYSTALLINE ROCKS	
Fractured crystalline rocks	0-10
Dense crystalline rocks	0-5
Basalt	3-35
Weathered granite	34-57
Weathered gabbro	42-45

Medium	Total porosity
Unaltered granite and gneiss	0.02–1.8%
Quartzites	0.8%
Shales, slates, mica-schists	0.5–7.5%
Limestones, primary dolomites	0.5–12.5%
Secondary dolomites	10–30%
Chalk	8–37%
Sandstones	3.5–38%
Volcanic tuff	30–40%
Sands	15–48%
Clays	44–53%
Swelling clays, silt	Up to 90%
Tilled arable soils	45–65%

Tabla 5: Valores representativos de porosidad (Todd, 1980, p.28)

Material	Porosity, Percent	Material	Porosity, Percent
Gravel, coarse	28[a]	Loess	49
Gravel, medium	32[a]	Peat	92
Gravel, fine	34[a]	Schist	38
Sand, coarse	39	Siltstone	35
Sand, medium	39	Claystone	43
Sand, fine	43	Shale	6
Silt	46	Till,	
Clay	42	predominantly silt	34
Sandstone,		Till,	
fine-grained	33	predominantly sand	31
Sandstone,		Tuff	41
medium-grained	37	Basalt	17
Limestone	30	Gabbro, weathered	43
Dolomite	26	Granite, weathered	45
Dune sand	45		

[a]These values are for repacked samples; all others are undisturbed.