GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN CUENCAS ALTO - ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

S.I.T. Nº 329

Santiago, Diciembre 2013

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Abogada Sra. Loreto Silva Rojas

Director General de Aguas
Abogado Sr. Francisco Echeverría Ellsworth

Jefe División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Adrián Lillo Zenteno

Inspector Fiscal
Ingeniero Civil Miguel Ángel Caro Hernández

Contraparte Técnica
Ingeniero Civil Michael James Finger

AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Jaime Vargas Paysen

Profesionales

Ingeniero Civil Marcelo Matthey C.
Ingeniero Civil Cristhian Quezada D.
Geólogo Carlos Parraguez D.
Ingeniero Civil Juan Carlos Parra E.
Ingeniera Civil en Geografía Claudia Hernández L.
Geomensor David Gálvez C.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES GENERALES Y ÁREA DE ESTUDIO 2
3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO 4
   3.1. Objetivo General 4
   3.2. Objetivos Específicos 4
4. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES 5
5. Caracterización Geomorfológica 61
6. Estimación Preliminar de la Oferta Hídrica 102
   6.1. Generalidades 102
   6.2. Precipitaciones 102
      6.2.1. Relleno de Estadísticas 102
      6.2.2. Generación de Precipitaciones Medias en Cada Cuenca 110
   6.3. Oferta Hídrica 113
      6.3.1. Metodología utilizada 113
      6.3.2. Calibración de la Relación Precipitación-Escorrentía 116
      6.3.3. Generación de la Oferta Hídrica 125
      6.3.4. Resultados obtenidos 127
7. Estimación de las Descargas del Sistema Hídrico 134
   7.1. Derechos de Aguas Subterráneas y Superficiales 134
   7.2. Evaporaciones desde Superficies Naturales 138
      7.2.1. Evaporación desde Cuerpos de Agua Libre 138
      7.2.2. Evaporación desde Vegas y Bodefales 143
      7.2.3. Evaporación desde Suelo del Salar y su Entorno 145
      7.2.4. Descargas Naturales a Lagunas, Vegas y Otros Sistemas Hídricos 147
8. Antecedentes Hidrogeológicos 155
   8.1. Planos de Construcción de Pozos Ubicados en las Cuencas de Interés 155
   8.2. Información de Parámetros Elásticos de los Acuíferos 155

8.3. Capacidad de los Pozos en Zona de Interés 157

8.4. Geofísica Existente 157

8.5. Isotopía Existente 159

8.6. Niveles de Aguas Subterráneas Históricas 159

9. Priorización de Subcuencas para Estudio Detallado 161

10. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS CUENCAS PRIORIZADAS 165

10.1. Geología 166

10.1.1. Cuenca Nº 32. Salar de Gorbea 166
10.1.2. Cuenca Nº 33. Salar Azufrera 170
10.1.3. Cuenca Nº 34. Salar de Agua Amarga 176
10.1.4. Cuenca Nº 6. La Laguna 179
10.1.5. Cuenca Nº 2. Salar de Pedernales 190
10.1.6. Cuenca Nº 28. Salar de Maricunga 204
10.1.7. Cuenca Nº 29. Quebrada Nevados de Juncalito 223
10.1.8. Cuenca Nº 14. Laguna Verde 239
10.1.9. Cuenca Nº 1. Laguna del Negro Francisco 249

10.2. Definición de Acuíferos. Hidrogeología 260

10.2.1. Cuenca Nº 32. Salar de Gorbea 260
10.2.2. Cuenca Nº 33. Salar de la Azufrera 272
10.2.3. Cuenca Nº 34. Salar de Agua Amarga 283
10.2.4. Cuenca Nº 6. La Laguna 292
10.2.5. Cuenca Nº 2. Salar de Pedernales 307
10.2.6. Cuenca Nº 14. Laguna Verde 328
10.2.7. Cuenca Nº 29. Quebrada Nevados de Juncalito (Piedra Pómez) 346
10.2.8. Cuenca Nº 28. Salar de Maricunga 364
10.2.9. Cuenca Nº 1. Laguna del Negro Francisco 397
10.2.10. Referencias Bibliográficas Adicionales para Hidrogeología 418

11. HIDROGEOQUÍMICA. INTERCONEXIÓN ENTRE CUENCAS PRIORIZADAS 419

11.1. Introducción 419

11.2. Diagrama de Piper. Generalidades 419

11.3. Conexión entre Cuencas Priorizadas 421

11.4. Metodología para la Verificación Conexiones entre Cuencas Priorizadas 423

11.5. Aplicación 424

11.5.1. Salar de Pedernales con Río Salado (cuenca 2 con Río Salado) 424
11.5.2. La Laguna con Salar de Pedernales (cuencas 6 y 2) 427
11.5.3. Piedra Pómez con Salar de Maricunga (cuencas 29 y 28) 431
11.5.4. Laguna del Negro Francisco con Salar de Maricunga (cuencas 1 y 28) 436
11.5.5. Salar de Pedernales con Salar de Maricunga (cuencas 2 y 28) 441
11.5.6. Salar de Pedernales con Piedra Pómez (cuencas 2 y 29) 444
11.5.7. Salar de Laguna Verde con Piedra Pómez (cuenca 14 y 29) 449
11.5.8. Salar de Gorbea con Salar de La Azufrera (cuencas 32 y 33) 453
11.5.9. Salar de la Azufrera con Salar de Agua Amarga (cuencas 33 y 34) 459
11.5.10. Resumen de los Análisis Efectuados 464

12. Modelo de Balance Hídrico 465

12.1. Planteamiento Conceptual del Modelo 465

12.1.1. Cauces Superficiales 466
12.1.2. Unidades de Acumulación 475
12.1.3. Sistema Superficial, Subsuperficial y Subterráneo 477
12.1.4. Implementación del Modelo 477

12.2. Calibración del Modelo 479

12.3. Resultados de la Modelación 487

12.4. Análisis de Resultados 507

13. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA 508

13.1. Introducción 508

13.2. Plataforma Computacional 509

13.3. Base Cartográfica 512

13.4. Instalación de la Aplicación SIG 513

13.5. Diseño y Organización SIG 513

13.5.1. Diseño Lógico y Conceptual 513
13.5.2. Estructura de Directorios 516

13.5.3. Base de Datos y Diseño de Tablas 524
13.5.4. Presentación de Resultados 524
13.5.5. Planos Temáticos 524
13.5.6. Visualización de la Información en el SIG 525
14. PLAN INTEGRAL DE OBTENCIÓN DE DATOS 529
14.1. Generalidades 529
14.2. Aforos Efectuados 529
14.3. Diagnóstico de las Estaciones Fluviométricas Ubicadas dentro del Área de Interés 532
14.3.1. Río Astaburuaga en Cono 533
14.3.2. Río Barros Negros Antes Junta Valle Ancho 535
14.3.3. Río Lamas en El Salto 538
14.3.4. Río La Ola en Vertedero 542
14.3.5. Río Valle Ancho Antes Junta Barros Negros 546
14.3.6. Río Valle Ancho en la Barrera 550
14.3.7. Río Villalobos en Vertedero 554
14.4. Proposición de Instalación de Estaciones Pluviométricas 559
14.4.1. Ubicación de Nuevas Estaciones Pluviométricas 559
14.4.2. Instrumentación 572
14.5. Proposición de Instalación de Estaciones Fluviométricas 573
14.5.1. Selección de Posible Ubicación de Nueves Estaciones Fluviométricas .. 573
14.5.2. Instrumentación 577
14.5.3. Sistema de Transmisión Instantáneo de Datos 577
14.5.4. Obras y Equipos Infraestructura Estación Satelital 579
14.5.5. Costos Estaciones Fluviométricas 579
14.6. Estaciones de Monitoreo de Niveles y Calidad Aguas Subterráneas 583
14.6.1. Estaciones de Monitoreo de Niveles de Aguas Subterráneas 583
14.6.2. Monitoreo de Calidad de Aguas. Físico Química e Isotópica 585
14.7. Geofísica 589
14.8. Estaciones Evaporimétricas 590
14.9. Estaciones de Medición de Nieve 593

14.10. Consideraciones Generales del Plan de Monitoreo Propuesto.598

14.11. Costos de Instalación de los Equipos Datalogger y Transmisión Satelital 599

14.12. Resumen Costos de Estaciones de Monitoreo Propuestas.....599

14.13. Costos de Operación y Mantención 600

14.13.1. Generalidades..... 600
14.13.2. Red Fluviométrica 600
14.13.3. Red Hidrometeorológica (Pluvio-Nivométrica y Evaporimétrica).... 602
14.13.4. Red Piezométrica y de Calidad de Aguas Subterráneas 604

14.14. Información Recopilada y Generada.....605

15. RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.....627

ANEXOS

ANEXO 4-1 **Estadísticas Originales de Precipitaciones, Fluviometría, Evaporación, Temperatura y Calidad de Agua**

ANEXO 4-2 **Fichas de Estudios Revisados**

ANEXO 5-1 **Curvas Hipsométricas**

ANEXO 6-1 **Estadísticas Pluviométricas Rellenadas**

ANEXO 6-2 **Metodología Generación de Precipitaciones Medias Mensuales y Anuales**

ANEXO 6-3 **Correlaciones de Caudales**

ANEXO 8-1 **Información de Isotopía de Estudios Anteriores**

ANEXO 10-1 **Estudio Geofísico**

ANEXO 12-1 **Bases Conceptuales del Modelo de Balance Hídrico**

ANEXO 12-2 Calibración del Modelo de Balance Hídrico. Valor de Parámetros calibrados

ANEXO 12-3 Calibración del Modelo de Balance Hídrico. Comparación de Caudales Superficiales Modelados y Caudales Superficiales Observados o Estimados

ANEXO 12-4 Resultados Balance Hídrico por Cuencas y Subcuencas. Caudales medios anuales

ANEXO 12-5 Resumen Resultados Balance Hídrico por Cuenca.Caudales medios anuales

ANEXO 12- 6 Balance Hídrico Global, Superficial y Subterráneo.Caudales medios mensuales y anuales

ANEXO 12- 7 Manual de Uso del Modelo

ANEXO 14-1 Fotografías de Aforos Efectuados

ANEXO 14-2 Resultados de Aforos Efectuados

ANEXO 14-3 Cotizaciones Equipos Instrumentación Estaciones Pluvio y Fluviométricas

PLANOS

PLANO 2-1 Área de Estudio (incluye estaciones pluviométricas, fluviométricas, evaporimétricas, temperatura y calidad de aguas)

PLANO 4-2 Ubicación Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas Existentes en Estudios Anteriores

PLANO 8-1 Capacidad de Pozos en la Zona de Estudio

DOCUMENTOS INTERNOS DE TRABAJO

DOC-1	**Estudios Revisados**
DOC-2	**Expedientes de Derechos de Aguas Subterráneas (filtrados)**
DOC-3	**Información de Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas Obtenido de Estudios Anteriores y de Expedientes de Derechos de Aguas**
DOC-4	**Planos de Construcción**
DOC-5	**Archivos Digitales Modelo de simulación**

1. INTRODUCCIÓN

El Altiplano o Puna es una región de América del Sur que comprende el Norte de Chile, el centro y Sur del Perú, la parte occidental de Bolivia y el noroeste de Argentina. Básicamente son cuencas sedimentarias formadas en altura, en su mayoría sobre los 3.500 msnm, debido al tectonismo y a la actividad volcánica existente en estas latitudes.

Debido a la morfología de la zona (cuencas endorreicas en un clima de bastante aridez), se han formado numerosas lagunas y salares. Las precipitaciones en estas cuencas son de origen tropical, y ocurren durante el verano del hemisferio Sur, lo que es conocido como el "Invierno Boliviano" o "Invierno Altiplánico". Estas precipitaciones son de carácter convectivo, con una alta variabilidad espacial, y se concentran en los meses de Enero y Febrero. Este fenómeno desaparece más al Sur, teniendo una mínima influencia en la Región de Atacama.

Las condiciones extremas sólo permiten que subsista una vegetación especializada, con pocos requerimientos hídricos y capaces de soportar amplias oscilaciones térmicas. Los bofedales conforman sistemas adaptados a estas condiciones, conocidas como vegetación de estepa o esteparia, que minimizan la transpiración debido a la reducida superficie de sus hojas, algunas de las cuales han evolucionado transformándose en espinas.

En Chile, las principales actividades que se desarrollan en la zona de interés, son la minería y el turismo, así como también la ganadería y la agricultura por parte de los pueblos originarios.

Las cuencas alto-andinas de la Región de Atacama tienen una gran demanda sobre el recurso hídrico que ellas generan. Esto, sumado a la escasa información hidrometeorológica que poseen, hace dificultosa la determinación de la disponibilidad hídrica.

El conocimiento de los procesos hidrogeológicos e hidrológicos que intervienen y determinan los flujos aprovechables de estos sistemas es un trabajo de largo plazo, no obstante, el incremento de la demanda de agua (compañías mineras principalmente, y en menor grado ganadería y agricultura de los pueblos originarios) implica la búsqueda de soluciones de corto a mediano plazo, que a partir de la información disponible y en forma razonable, se pueda hacer cargo de la evaluación hidrológica dentro de un cierto nivel de certidumbre.

Dentro de esta línea de trabajo, la DGA ha abordado diferentes estudios que permitan plantear una metodología ágil y robusta para la estimación de las recargas que se producen en el altiplano y en la precordillera del Norte de Chile; dentro de esos trabajos se cuentan los siguientes (en orden cronológico):

a) Estudio Evaluación de Los Recursos Hídricos Subterráneos en Cuencas de la Región de Atacama Ubicadas entre el Río Copiapó y La Región de Antofagasta SDT 276 (Año 2009-DARH).

b) Estudio Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de chile , regiones XV, I, II y III; SIT Nº 157 (parte 1) y SIT Nº 195 (parte 2)- DICTUC 2009.

c) Estudio Metodología para la Estimación de Recarga de Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica en el Norte de Chile XV, I, II, y III Regiones.; SIT Nº 221 – GCF Ingenieros Limitada 2010.

d) Propuesta Metodológica para Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas y de Vertiente Pacífico; Documento de Trabajo, Marzo 2010, Luis Rojas Badilla y Carlos Salazar M., DGA.

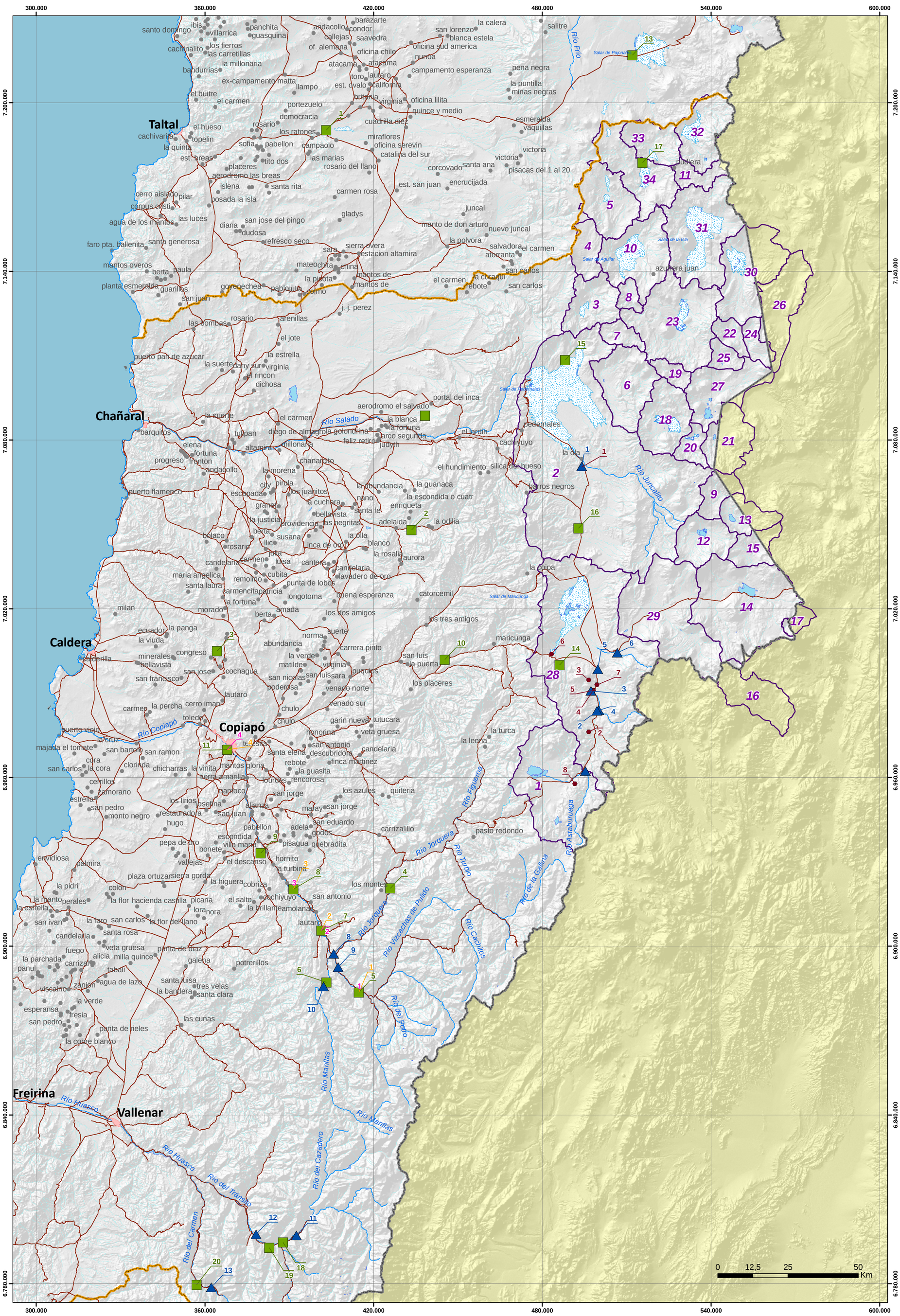
e) Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica, SIT Nº 251, Aquaterra Ingenieros Ltda., Septiembre de 2011.

f) Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas, Región de Atacama; SDT Nº 334, Diciembre de 2012.

2. ANTECEDENTES GENERALES Y ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a las cuencas Alto Andinas de la III Región de Atacama, las cuales limitan al Norte con la II Región, al Sur con la cuenca del Río Copiapó, al Este con la República de Argentina y al Oeste con las cuencas exorreicas del Río Salado, Quebrada Pan de Azúcar y Quebrada de Tal Tal.

En este estudio se analizarán 34 subcuencas, las cuales fueron delimitadas en el estudio DGA/PUC 2008 SIT Nº 157. En el Plano 2-1 se muestra el área general de interés. En dicho plano, se han ubicado las estaciones pluviométricas, fluviométricas, evaporimétricas y de temperatura.



Simbología

Estaciones
- Fluviométricas
- Pluviométricas
- Evaporométricas
- Temperatura
- Calidad de Aguas
- 20 Identificador Estaciones

Hidrografía
- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- SubCuencas Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos
- Límite Costero
- Límite Regional
- Límite Internacional

ID	NOMBRE CUENCA
1	Laguna del Negro Francisco
2	Salar de Pedernales
3	Salar de Infieles
4	Cerro el Encanche
5	Cerro Blanco
6	La Laguna
7	Qda. Los Maranceles
8	Cerro Conito de los Infieles
9	Sierra Nevada
10	Salar de Aguilar
11	Qda. La Rossa
12	Wheelwrigth
13	Laguna Escondida
14	Laguna Verde
15	Qda. Las Amarillas
16	Cerro Agua Caliente
17	Cerro Nevado de Incahuasi
18	Salar de Piedra Parada
19	Cerro Agua de Morales
20	Lagunas del Jilguero
21	Laguna del Bayo
22	Qda. El llano
23	Salar Grande
24	Qda. la Trinchera
25	Laguna de las Parinas
26	Laguna de Colorados
27	Lagunas Bravas
28	Salar de Maricunga
29	Piedra Pómez
30	Salar de las Parinas
31	Salar de la Isla
32	Salar de Gorbea
33	Salar de la Azufrera
34	Salar de Agua Amarga

IDENTIFICACIÓN ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA DESDE	ESTADÍSTICA HASTA
1	02942001-7	AGUAS VERDES	SEP 1987	DIC 2012
2	03210001-5	LAS VEGAS	ENE 1984	DIC 2012
3	03340001-2	CALDERA	MAR 1992	DIC 2012
4	03404002-8	JORQUERA EN LA GUARDIA	OCT 1966	DIC 2012
5	03414002-2	IGLESIA COLORADA	JUN 1988	NOV 2012
6	03421004-7	MANFLAS HACIENDA	JUL 1966	DIC 2012
7	03430006-2	LAUTARO EMB.	MAY 1930	NOV 2012
8	03430007-0	LOS LOROS	SEP 1967	NOV 2012
9	03431004-1	ELIBOR CAMPAMENTO	ENE 1978	DIC 2012
10	03441001-1	PASTOS GRANDES	AGO 1966	DIC 2012
11	03450004-5	COPIAPÓ	ENE 1971	DIC 2012
12	DMC	EL SALVADOR	ABR 1963	DIC 2008
13*	PUC-DGA	PAJONALES	OCT 2007	OCT 2008
14*	PUC-DGA	MARICUNGA	OCT 2007	OCT 2008
15*	PUC-DGA	PEDERNALES NORTE	OCT 2007	OCT 2008
16*	PUC-DGA	PEDERNALES SUR	OCT 2007	OCT 2008
17*	PUC-DGA	AGUA AMARGA	OCT 2007	OCT 2008
18	03802005-6	CONAY	ABR 1965	MAY 2010
19	03802004-8	LOS TAMBOS	ABR 1961	DIC 1992
20	03804006-5	EL CORRAL	ABR 1995	MAY 2010

* Instaladas en Octubre del 2007 por convenio PUC-DGA

IDENTIFICACIÓN ESTACIONES DE TEMPERATURA

ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA DESDE	ESTADÍSTICA HASTA
1	03414002-2	IGLESIA COLORADA	FEB 1993	ABR 2012
2	03430006-2	LAUTARO EMB.	JUN 1969	ABR 2012
3	03430007-0	LOS LOROS	JUL 1988	ABR 2012
4	03450004-5	COPIAPÓ	ABR 1984	MAR 2000

IDENTIFICACIÓN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA DESDE	ESTADÍSTICA HASTA
1	03022001-3	RÍO LA OLA EN VERTEDERO	JUN 1986	ABR 2012
2	03041001-7	RÍO BARROS NEGROS ANTES JUNTA VALLE ANCHO	ABR 1979	ABR 2012
3	03041002-5	RÍO VILLALOBOS EN VERTEDERO	JUN 1979	ABR 2012
4	03041003-3	RÍO VALLE ANCHO ANTES JUNTA BARROS NEGROS	ABR 1979	ABR 2012
5	03041004-1	RÍO VALLE ANCHO EN LA BARRERA	ABR 1979	ABR 2012
6	03041005-K	RÍO LAMAS EN EL SALTO	FEB 1980	ABR 2012
7	03050001-6	RIO ASTABURUAGA EN CONO	DIC 1979	ABR 2012
8	03404001-K	RIO JORQUERA EN VERTEDERO	JUL 1947	ABR 2012
9	03414001-4	RIO PULIDO EN VERTEDERO	FEB 1964	ABR 2012
10	03421001-2	RIO MANFLAS EN VERTEDERO	FEB 1964	ABR 2012
11	03802001-3	RIO CONAY EN LAS LOZAS	OCT 1984	ABR 2012
12	03804002-2	RIO TRANSITO EN ANGOSTURA PINTE	FEB 1961	ABR 2012
13	03814003-5	RIO CARMEN EN EL CORRAL	OCT 1991	ABR 2012

IDENTIFICACIÓN ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUAS

ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA DESDE	ESTADÍSTICA HASTA
1	03022001-3	RÍO LA OLA EN VERTEDERO	1990	2013
2	03041001-7	RÍO BARROS NEGROS ANTES JUNTA VALLE ANCHO	1979	1980
3	03041003-3	RÍO VALLE ANCHO ANTES JUNTA BARROS NEGROS	1979	2013
4	03041006-8	RÍO VILLALOBOS ANTES RIO BARROS NEGROS	1979	1979
5	03041007-6	RÍO VILLALOBOS ANTES RIO VALLE ANCHO	1967	1968
6	03041008-4	LAGUNA SANTA ROSA (CA)	1967	1967
7	03041011-4	POZO COMPAÑÍA TRES CRUCES	1999	2011
8	03050001-6	RÍO ASTABURUAGA EN CONO	1979	1979

IDENTIFICACIÓN ESTACIONES EVAPORIMÉTRICAS

ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA DESDE	ESTADÍSTICA HASTA
1	03414002-2	IGLESIA COLORADA	MAR 1993	ABR 2012
2	03430006-2	LAUTARO EMB.	FEB 1969	ABR 2012
3	03430007-0	LOS LOROS	JUN 1963	ABR 2012
4	03450004-5	COPIAPÓ	ABR 1984	MAR 2000

Datos Cartográficos y Geodésicos:
Proyección Universal
Transversal de Mercator (UTM)
Huso 19 Sur.
Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

Nota:
Trazado de límites aproximado

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR: AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO: DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº PLANO	FECHA	TÍTULO
1:750.000	2 - 1	DICIEMBRE 2013	Área de Estudio, SubCuencas Alto Aldino Estaciones Fluviométricas, Pluviométricas, Evaporométricas de Temperatura y Calidad de Aguas

3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

3.1. Objetivo General

El objetivo general del estudio es la revisión y análisis de antecedentes meteorológicos, hidrológicos, geológicos, geofísicos, isotópicos, hidrogeológicos, hidrogeoquímicos y de demandas de aguas, y a partir de ello, desarrollar balances hídricos preliminares para 8 cuencas Alto-Andinas de la Región de Atacama.

De acuerdo con lo señalado, se contempla además la creación de un plan integral que permita obtener más y mejores datos para el fortalecimiento del conocimiento del recurso hídrico de la Región de Atacama.

3.2. Objetivos Específicos

a) Recopilación y revisión de antecedentes.
b) Creación de una base de datos con la información existente.
c) Priorización de subcuencas para un estudio de mayor detalle en base a la investigación preliminar.
d) Desarrollo de un modelo conceptual de cada sistema hídrico de las cuencas priorizadas.
e) Generación de Balances Hídricos preliminares para cada una de las subcuencas priorizadas, considerando la situación histórica y actual.
f) Identificación de variables hidrológicas, meteorológicas e hidrogeológicas faltantes en cada cuenca, para la realización de un buen balance hídrico.
g) Propuesta técnica y económica para la implementación de una red de medición de las variables hidro-meteorológicas e hidrogeológicas faltantes para un correcto balance hídrico.

4. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Se ha efectuado una revisión y recopilación de antecedentes, para dar cumplimiento con los objetivos del estudio, los alcances establecidos y las actividades especificadas, a saber, informes, estudios, tesis, expedientes, estadísticas.

En primer término, se revisaron los **estudios básicos de referencia**, y luego se indagaron otros antecedentes de instituciones que de una u otra forma tienen que ver con los temas que se tratarán en el estudio.

Los **estudios básicos de referencia** que han sido revisados son los siguientes:

Ref. 1: Estudio Evaluación de Los Recursos Hídricos Subterráneos en Cuencas de la Región de Atacama Ubicadas entre el Río Copiapó y La Región de Antofagasta SDT 276 (Año 2009-DARH).

Ref. 2: Estudio Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, regiones XV, I, II y III; SIT Nº 157 (parte 1) y SIT Nº 195 (parte 2)-DICTUC 2009.

Ref. 3: Estudio Metodología para la Estimación de Recarga de Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica en el Norte de Chile XV, I, II, y III Regiones.; SIT Nº 221 – GCF Ingenieros Limitada 2010.

Ref. 4: Propuesta Metodológica para Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas y de Vertiente Pacífico; Documento de Trabajo, Marzo 2010, Luis Rojas Badilla y Carlos Salazar M., DGA.

Ref. 5: Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica, SIT Nº 251, Aquaterra Ingenieros Ltda., Septiembre de 2011.

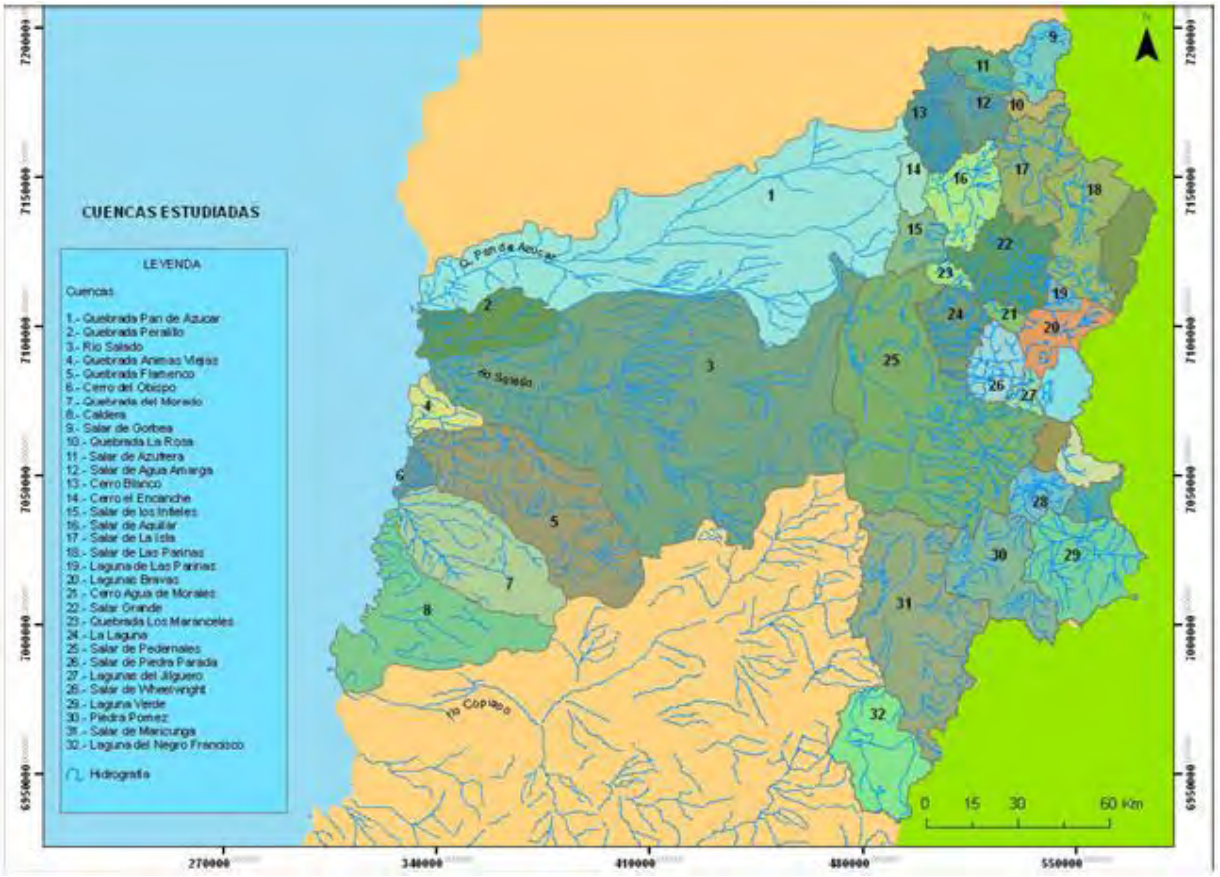
Ref. 6: Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas, Región de Atacama; SDT Nº 334, Diciembre de 2012

A continuación se presenta un resumen de los estudios de la Ref. 1 a la Ref. 6.

Ref. 1: Evaluación de Los Recursos Hídricos Subterráneos en Cuencas de la Región de Atacama Ubicadas entre el Río Copiapó y La Región de Antofagasta SDT 276 (Año 2009-DARH)

Este estudio fue realizado en base a información oficial de la DGA más otros antecedentes de dominio público, por lo que los resultados deben considerarse como una primera aproximación a la solución del problema planteado. El área de estudio correspondió a las cuencas comprendidas entre el límite Sur de la Región de Antofagasta y la cuenca del río Copiapó. El área está constituida por tres tipos de cuencas, altiplánicas, costeras e intermedias. Específicamente, en total se estudiaron 32 cuencas, de las cuales 24 son de origen altiplánico y de interés para la presente consultoría.

FIGURA 4-1
ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Ref. 1, SDT 276, 2009

El principal objetivo del estudio fue elaborar una herramienta de apoyo a la resolución de las solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas.

Se realizó una caracterización hidrológica e hidrogeológica del área en estudio, en base a antecedentes existentes. Dicha caracterización corresponde a una estimación preliminar de los recursos, desarrollada a partir de metodologías simplificadas. A continuación se presentan las principales consideraciones efectuadas y los resultados obtenidos:

HIDROLOGÍA

La caracterización hidrológica se centró únicamente en las precipitaciones pues la escorrentía superficial es prácticamente nula en el área de estudio.

El análisis de precipitaciones se realizó con información pluviométrica de estaciones ubicadas aproximadamente entre el salar de Atacama al Norte y la cuenca del río Copiapó al Sur. La información utilizada corresponde a una amplia zona vecina debido a que el área de estudio cuenta con muy pocas estaciones pluviométricas en su interior, siendo la zona con menor densidad de información meteorológica en el extremo Norte del país.

En este contexto, se analizó la variación de precipitación en las zonas vecinas, con el objetivo de interpolar la información en el área de interés, estimando un gradiente de precipitaciones y el mapa de isoyetas anuales de la zona. Para las zonas ubicadas sobre los 2000 msnm se establece un gradiente de precipitaciones medias anuales, igual a 2,4 mm por cada 100 m de altura. Se obtuvo así la precipitación media anual en cada cuenca, considerando un área de influencia de las isoyetas más cercanas.

La extensión y relleno de las estadísticas se realizó cuidadosamente con el fin de lograr una buena caracterización, ya que al contar con poca información es necesario disminuir la incertidumbre que se asocia a los registros pluviométricos, corrigiendo errores sistemáticos que son generados por distintas causas. El valor a rellenar en un mes cualquiera se calcula como una combinación lineal de las precipitaciones de dos estaciones cercanas más un término adicional que permite que la serie rellenada conserve la varianza de la serie original. Se aceptó un coeficiente de correlación mínimo R = 0,85, con un mínimo de 5 datos de registro común.

HIDROGEOLOGÍA

Las unidades y formaciones hidrogeológicas corresponden principalmente a las unidades identificadas dentro de los mapas hidrogeológicos de las cuencas altiplánicas, agrupándose, por motivos de alcance del estudio las formaciones en roca en sólo dos unidades.

De esta manera se definieron cuatro unidades hidrogeológicas en base a la delimitación de secuencias geológicas del mapa geológico de Chile, a la permeabilidad, capacidad de almacenamiento y calidad de las aguas asociada a cada una de estas. Las unidades hidrogeológicas se dividieron, en principio, según se ubicaran en zonas de rellenos sedimentarios no consolidados o bien en rocas.

Para los acuíferos ubicados en rellenos sedimentarios no consolidados, se definieron dos zonas, una de alta importancia hidrogeológica y otra de media a baja importancia hidrogeológica. En detalle dentro de la cuenca es posible reconocer unidades con características hidrogeológicas diferentes dentro de los rellenos, no obstante estas zonas son marginales con respecto al total y no se justifica el análisis unitario dentro de los alcances de este estudio.

Las unidades hidrogeológicas en roca se dividieron en dos zonas, una zona con importancia hidrogeológica nula a baja, y una zona con importancia hidrogeológica media a baja. La primera corresponde a rocas con un alto grado de consolidación y escasa presencia de fracturas, y la segunda, corresponde a porciones de roca meteorizadas y/o fracturadas que almacenan agua en distintas proporciones. Al ser una clasificación realizada sobre la base del mapa geológico de Chile, es posible encontrar (dependiendo del grado de fracturamiento y de consolidación de las rocas) diferentes características hidrogeológicas para una misma unidad, pero en este estudio el potencial de cada unidad se asignó según el comportamiento general del área de análisis.

Recarga

Se señala que la recarga de los acuíferos en la zona de estudio se produce principalmente por los aportes de la precipitación, la cual varia su magnitud dependiendo si la cuenca es costera, intermedia o altiplánica.

Se realizó una estimación de la recarga media anual a largo plazo, estimada por medio de coeficientes de infiltración y escorrentía, que

ponderan las características hidrogeológicas de las unidades geológicas presentes en las cuencas analizadas.

La recarga por precipitación se calculó como la suma de una recarga lateral o de piedemonte, producida por la precipitación que cae sobre la roca impermeable o semipermeable, y una recarga directa dada por la precipitación que cae sobre los depósitos sedimentarios. La recarga lateral se estimó con la siguiente expresión:

(1) $$R_L = Pp \cdot C_E \cdot C_I \cdot A_{RL}$$

Donde, P_p es la precipitación media de la cuenca, C_E es un coeficiente de escorrentía, C_I es un coeficiente de infiltración que depende del grado de permeabilidad y consolidación de la unidad hidrogeológica analizada y A_{RL} corresponde a la superficie de la unidad. La recarga directa se calcula de la misma manera, pero sin considerar el coeficiente de escorrentía, y considerando la superficie de depósitos sedimentarios,

(2) $$R_D = Pp \cdot C_I \cdot A_{RD}$$

Para las cuencas que se encuentran insertas en el altiplano y la cordillera de Los Andes, se indica que la principal fuente de recarga corresponde a las precipitaciones que se producen en los conos volcánicos que las rodean y que están formados por rocas del Mioceno con una permeabilidad y almacenamiento asociados a su fracturamiento, por lo que se estima que poseen un potencial hidrogeológico bajo a nulo. Dichas zonas sólo constituyen una zona de transferencia del agua subterránea hacia las zonas más bajas de la cuenca, donde se presentan rellenos de depósitos aluviales actuales (Cuaternarios) y depósitos evaporíticos (Salares), que corresponden a los sectores con mayor potencial hidrogeológico de estas cuencas.

La principal (si no la única) forma de descarga de estas cuencas es la evaporación, por lo que la calidad de las aguas empeora, debido al aumento de la concentración de sales a medida que se avanza desde la cabecera de las cuencas hacia las zonas bajas. En el Cuadro 4-1 se incluyen los parámetros utilizados (Precipitaciones, superficies, coeficientes, etc.) en la determinación de la recarga al acuífero en 23 de las 24 Cuencas Altiplánicas estudiadas:

CUADRO 4-1
RECARGA POR CUENCA

Nº	NOMBRE	AREA TOTAL (m^2)	UNIDADES DE ROCA (m^2)	DEPOS. NO CONSOLID. (m^2)	PP (mm)	CE	CI	RECARGA LATERAL (m^3/s)	RECARGA DIRECTA (m^3/s)	RECARGA TOTAL (m^3/s)	RECARGA TOTAL (l/s)
1	Salar de Gorbea	363.811.403	314.105.530	49.705.872	135	0,13	0,3	0,05244056	0,0638346	0,1162751	116
2	Salar de Azufrera	250.170.225	215.377.934	34.792.290	135	0,13	0,3	0,03595779	0,04468188	0,080639	81
3	Salar de Agua Amarga	461.752.973	417.015.800	44.737.172	135	0,13	0,3	0,06962164	0,0574535	0,1270752	127
4	Quebrada La Rosa	128.895.951	121.394.751	7.501.200	125	0,13	0,3	0,01876584	0,00891981	0,0276856	28
5	Cerro Blanco	379.264.228	348.212.543	31.051.685	125	0,13	0,3	0,0538285	0,03692409	0,090572	91
6	Cerro El Encanche	176.331.055	169.806.717	6.524.338	125	0,13	0,3	0,0262496	0,0077582	0,0340078	34
7	Salar de La Isla	736.399.107	576.523.458	159.875.648	125	0,13	0,3	0,08912201	0,19011088	0,2792329	279
8	Salar de Aguilar	590.238.383	482.394.754	107.843.629	125	0,13	0,3	0,07457111	0,1282387	0,2028090	203
9	Salar de Los Infieles	304.625.270	284.688.042	19.937.227	125	0,13	0,3	0,0440085	0,0237077	0,0677162	68
10	Salar de Las Parinas	829.678.899	729.477.919	100.200.978	130	0,13	0,3	0,11727714	0,12391674	0,2411938	241
11	Salar Grande	781.104.342	686.847.105	94.257.237	130	0,13	0,3	0,1104234	0,1165662	0,2269897	227
12	Queb. Los Maranceles	107.058.251	103.011.289	4.046.961	125	0,13	0,3	0,015924	0,0048123	0,0207360	21
13	Cerro Agua de Morales	89.427.004	82.823.443	6.603.560	130	0,13	0,3	0,01331541	0,0081665	0,0214819	21
14	La Laguna	456.868.397	442.102.988	14.765.408	133	0,13	0,3	0,07271652	0,0186815	0,0913980	91
15	Salar de Piedra Parada	380.575.664	327.092.123	53.483.540	125	0,13	0,3	0,0505636	0,063598	0,1141618	114
16	Laguna de Las Parinas	95.591.130	84.192.916	11.398.213	130	0,13	0,3	0,01353558	0,01409596	0,02763155	28
17	Lagunas Bravas	408.031.501	374.564.518	33.466.982	130	0,13	0,3	0,06021823	0,04138801	0,10160624	102
18	Laguna del Jilguero	112.866.240	102.104.891	10.761.349	130	0,13	0,3	0,01641527	0,01330837	0,02972364	30
19	Salar de Wheelwright	292.265.222	243.637.582	48.627.639	130	0,13	0,3	0,03916928	0,0601369	0,09930618	99
20	Laguna Verde	1.001.738.788	862.776.759	138.962.028	150	0,13	0,3	0,160047	0,19829057	0,35833757	358
21	Piedra Pómez	918.736.915	863.396.947	55.339.968	150	0,13	0,3	0,1601621	0,07896685	0,23912895	239
22	Salar de Maricunga	2.194.515.505	1.608.614.376	585.901.128	160	0,13	0,3	0,31829508	0,89178254	1,21007762	1210
23	Laguna del Negro Francisco	905.325.615	758.595.235	146.730.379	150	0,13	0,3	0,14072115	0,20937554	0,35009669	350

Fuente: Ref. 1, SDT 276, 2009

Cabe indicar que para el Salar de Pedernales, se contaba con mayores antecedentes producto de estudios anteriores, motivo por el cual al aplicar la metodología de los coeficientes de infiltración y escorrentía antes mencionada, se llegó a establecer una recarga anual igual a 13.150.512 m3/año, lo que sumado al caudal subterráneo proveniente del Sur, aproximadamente igual a 200 l/s (calculado por prospección geofísica), se obtiene 19.457.712 m3/año, lo que equivale a 617 l/s de recarga continua.

Ref. 2: Estudio Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, regiones XV, I, II y III; SIT Nº 157 (parte 1) y SIT Nº 195 (parte 2)- DICTUC 2009.

En términos generales, el estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentaron en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos fueron los siguientes:

- Parte I Hidrografía Regional del Altiplano del Chile.
- Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile.

- Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile.
- Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile.
- Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas.
- Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos.
- Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del "Domo".
- Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco.
- Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada.
- Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales.

De acuerdo con lo señalado, este trabajo constituye la fuente más importante respecto a la información que aporta para el presente estudio. En la Figura 4-2 se indica el área de estudio, que incluye el Altiplano de Chile, entre las regiones XV y III.

Cabe destacar los estudios realizados en zonas específicas, indicados en las Partes VIII, IX y X, en donde se establecen los balances hídricos, con los diferentes flujos de entrada y salida en cada cuenca.

FIGURA 4-2
AREA DE ESTUDIO



Fuente: [Niemeyer & Cereceda, IGM (1984)]

HIDROLOGÍA

Se realizó una caracterización hidrológica a nivel regional de las cuencas altiplánicas chilenas, considerando variables meteorológicas como precipitaciones, temperatura y evaporación de tanque, e hidrológicas como los escurrimientos.

Para el análisis se recopilaron series históricas de estas variables a nivel mensual y anual. En el caso de las precipitaciones se realizaron correlaciones, rellenos y análisis de acuerdo a metodologías convencionales. Se destaca el relleno por correlaciones múltiples utilizando dos estaciones de condiciones similares en lugar de una, por ser más adecuado ante las condiciones meteorológicas particulares de la zona.

Se utilizaron datos de lluvias de Argentina y Bolivia, además de los nacionales, lo cual permitió efectuar un análisis de precipitaciones con una perspectiva global del comportamiento de las precipitaciones altiplánicas, es decir, se caracterizó la distribución espacial y temporal
de las precipitaciones en el altiplano estimando cuantitativamente el aporte de lluvias a las cuencas en estudio.

Específicamente, del análisis se observó que se produce un cambio significativo en la precipitación media anual en función de la latitud, notándose que en las estaciones ubicadas sobre los 3.000 msnm la cantidad de agua caída de la XV y I Región es mucho mayor que el agua caída en la II Región.

Con respecto al análisis de la temperatura, se estableció que bajo los 2000 msnm la temperatura media anual no presenta mayores variaciones con la latitud. Para alturas superiores, se señala que no existe una tendencia clara, pero las variaciones alcanzan hasta 10ºC para estaciones ubicadas en la misma latitud. En tanto el gradiente de la temperatura media anual, en función de la temperatura, permite establecer una disminución de 0,56ºC cada 100 m, para altitudes entre los 1500 y 4500 msnm.

Para la evaporación anual se estableció que entre los 1100 y 3000 msnm, esta es aproximadamente constante e igual a 3100 mm. En tanto, para alturas sobre los 3000 msnm se estima una disminución de 93,3 mm cada 100 m. Por otro lado se establecen bandas de evaporación desde superficies libres y relaciones para el cálculo de evaporación desde vegas y bofedales, en zonas específicas.

En las aplicaciones a las Cuencas de los Salares de Maricunga y Pedernales, se indica que se instalaron en la zona de estudio 5 estaciones pluviométricas sobre los 3400 msnm, en las que se dispone de registros a nivel diario, mensual y anual, para el año hidrológico 2007-2008. Se calculó para estas estaciones un gradiente de precipitación anual igual a 1,4 mm por cada 100 m de altura, similar al gradiente de 1 mm por cada 100 m de altura, señalado en el informe " Hidrología Regional del Altiplano" (Parte III de este estudio), para el rango de altitudes entre 0 y 2200 msnm.

HIDROGEOLOGÍA

Se realizó una caracterización hidrogeológica en las cuencas específicas indicadas en las Partes VII, IX y X de este estudio.

Piezometría y Conexión de Acuíferos

A partir de los datos de pozos catastrados en estas cuencas, se determinaron las cotas piezométricas estáticas, estableciéndose la dirección de escurrimiento de las aguas subterráneas.

Un aspecto de interés dice relación con la conexión hidrogeológica entre cuencas hidrográficas distintas. Así, por ejemplo, en la cuenca Salar de Pedernales, se constata la existencia de un dren artificial que conduce aguas desde este salar al Río Salado. Otro ejemplo se puede ver en la interconexión entre la cuenca La Laguna y la cuenca del Salar de Pedernales, avalado por la información de niveles piezométricos y la hidrogeoquímica. La divisoria de aguas aparece como pseudo-impermeable, y presenta fracturas, lo que permitiría el paso de agua subterránea por esta zona.

Recargas

Con relación al cálculo de la recarga media anual de largo plazo, ésta se realizó por medio de un balance de masa y de coeficientes de escorrentía e infiltración, basado en la litología de superficie de las cuencas, la influencia de los cauces en la geomorfología y los montos de precipitación en distintas bandas de altura.

Específicamente, el método utilizado en este trabajo es el indicado en el Estudio SIT Nº 276. Se adoptaron las mismas ecuaciones para determinar la recarga directa y lateral en cada cuenca, es decir:

Recarga Lateral:

(1) $$R_L = Pp \cdot C_E \cdot C_I \cdot A_{RL}$$

Donde, P_p es la precipitación media de la cuenca, C_E es un coeficiente de escorrentía, C_I es un coeficiente de infiltración que depende del grado de permeabilidad y consolidación de la unidad hidrogeológica analizada y A_{RL} corresponde a la superficie de la unidad.

Recarga Directa:

(2) $$R_D = Pp \cdot C_I \cdot A_{RD}$$

Donde A_{RD} corresponde a la superficie de la unidad

El valor de Ci depende del tipo de suelo. En este caso se adoptaron valores según la permeabilidad cualitativa de las unidades litológicas. Para Ce se adoptó un valor de 0,13 para cuencas altiplánicas, de acuerdo a "Estudio Hidrogeológico Conceptual y Numérico del Funcionamiento de la Cuenca del Salar de Coposa" (DICTUC, 2005)

Los resultados para las recargas fueron comparados con aquéllos obtenidos en otros estudios del DICTUC, de manera de poder calibrar los coeficientes de escorrentía y evaporación utilizados. La comparación mostró que son satisfactoriamente similares.

El balance propuesto es simple, basándose en la estimación de pocos parámetros; por esta razón, requiere pocas variables de entrada. Dado que este estudio estuvo enfocado principalmente a cuencas endorreicas, el balance se simplifica por no poseer caudales superficiales de salida. El balance quedaría sobre determinado si se quisiese aplicar a una cuenca con caudales efluentes.

Los valores obtenidos de recarga para las cuencas de la III región (Salares de Maricunga y Pedernales) en las cuales se aplicó la metodología señalada, dieron como resultado lo siguiente:

CUADRO 4-2
RECARGA ANUAL SALAR DE MARICUNGA Y PEDERNALES

Salar de Maricunga

Fuente	Área	PP	Recarga Mínima			Recarga Media			Recarga Máxima		
	(km^2)	(mm)	(mm)	(L/s)	(% PP)	(mm)	(L/s)	(% PP)	(mm)	(L/s)	(% PP)
DGA–PUC/DIHA (2009)	2.194,6	160,7	15,5	1.079,1	10,0	19,7	1.369,6	12,7	24,0	1.668,5	15,4

Salar de Pedernales

Fuente	Área	PP	Recarga Mínima			Recarga Media			Recarga Máxima		
	(km^2)	(mm)	(mm)	(L/s)	(% PP)	(mm)	(L/s)	(% PP)	(mm)	(L/s)	(% PP)
DGA–PUC/DIHA (2009)	3.587,7	133,1	5,2	588,7	3,9	6,1	695,6	4,6	7,1	806,3	5,3

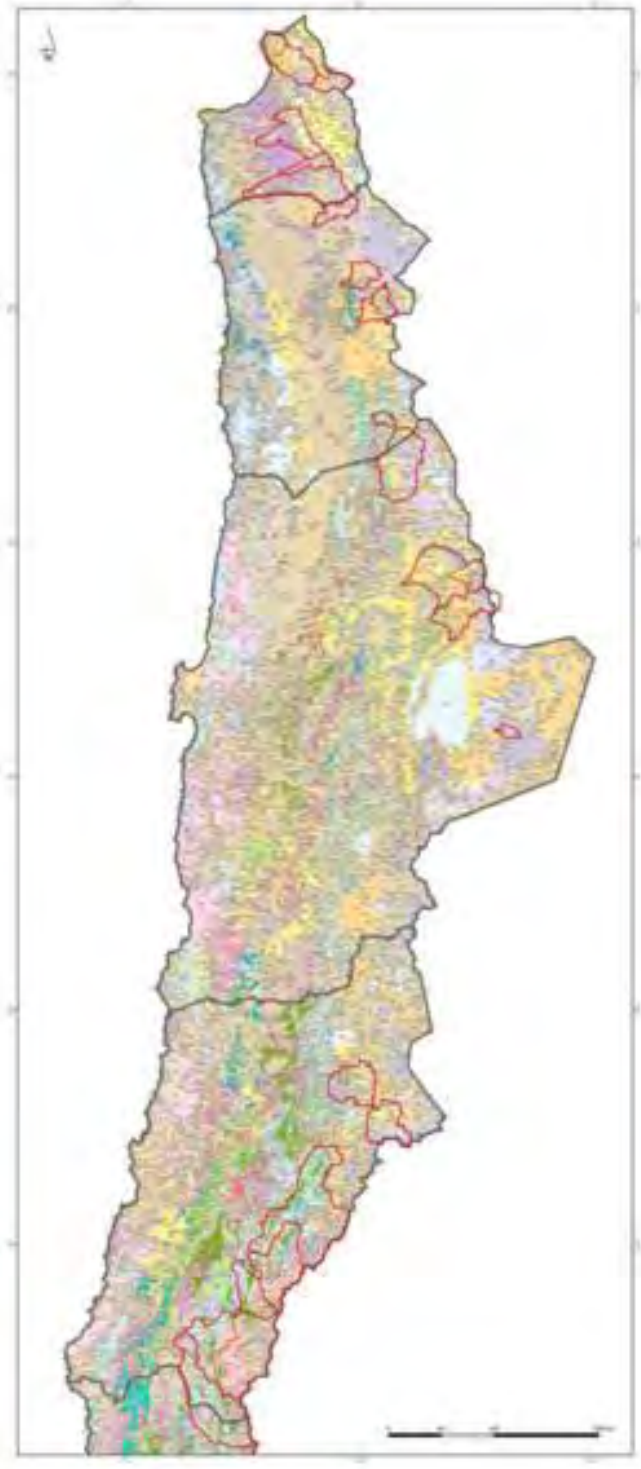
Al comparar estos valores con los obtenidos para estas mismas cuencas en el estudio SDT 276, elaborado por el DARH de la DGA, se observa bastante similitud en los valores de recarga media obtenidos en ambos estudios.

Finalmente, cabe señalar que en la estimación de las recargas en las distintas cuencas, se debe tomar en cuenta que la fuerte influencia volcánica y tectónica presente en el Altiplano y la Puna, genera cuencas hidrogeológicas que se extienden más allá de los límites definidos por la divisoria de aguas superficiales, compartiendo recursos subterráneos a través de rellenos sedimentarios.

Ref. 3: Estudio Metodología para la Estimación de Recarga de Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica en el Norte de Chile XV, I, II, y III Regiones.; SIT Nº 221 – GCF Ingenieros Limitada 2010.

El objetivo del estudio fue proponer una metodología para estimar recargas en cuencas altiplánicas y de precordillera de vertiente al Pacífico, aplicable en escala regional a cualquier cuenca ubicada entre las regiones XV y III, sobre la cota 1.500 m.s.n.m. Para ello se desarrolla un modelo matemático para el cálculo de la recarga de aguas subterráneas, en las cuencas de la zona de interés.

FIGURA 4-3
AREA DE ESTUDIO



Fuente: Ref. 3, SIT 221, 2010

El método elaborado se basó en un balance hídrico, que considera, además de la recarga, las variables precipitación líquida y sólida, almacenamiento de nieves y derretimiento de ésta, evaporación desde cada cuenca, acumulación en acuíferos y afloramientos, y caudales superficiales. Para estos efectos, se hizo depender el balance hídrico de ciertos coeficientes de evaporación y de permeabilidad o recarga, característicos de cada cuenca, los cuales varían espacialmente, habiéndose calibrado éstos al aplicar la metodología a un total de 25 cuencas a lo largo de la zona de estudio.

Para la implementación del modelo matemático, se desarrolló primeramente un modelo conceptual para representar el mecanismo de recarga. Las principales consideraciones efectuadas en la confección de este modelo conceptual, son las siguientes:

- Las precipitaciones pueden producirse como lluvia o nieve. La lluvia genera escorrentía superficial y la nieve se acumula produciendo escorrentía superficial con el deshielo.

- Ciertos eventos de precipitaciones son breves y de cuantías reducidas; estos pueden no ser capaces de generar escorrentía, evaporándose completamente. Otros en cambio, son tormentas intensas de corta duración que generan una escorrentía superficial que potencialmente puede generar un flujo de recarga.

- La intensidad de los eventos de lluvia es determinante en los procesos de recarga; las lluvias de intensidad baja generalmente se evaporan antes de producir un flujo superficial o algún tipo de infiltración. A nivel regional, con datos de precipitaciones representados a través de isoyetas promedio mensuales, los eventos y sus intensidades no quedan lo suficientemente explícitos, por lo tanto, la metodología desarrollada consideró esta distorsión.

- El cálculo de lluvias efectivas acumuladas anuales, mensuales, incluso diarias, restando la evaporación potencial, puede resultar nulo. Sin embargo, una tormenta de horas puede superar el umbral de la evaporación potencial y generar escorrentía y recarga. Este aspecto es muy relevante al modelar recarga en zonas áridas y fue especialmente analizado en el desarrollo de la metodología.

En el cuadro siguiente se identifican las 25 cuencas seleccionadas en este estudio.

CUADRO 4-3
CUENCAS SELECCIONADAS

	Nombre	Área (Km^2)	Estación Fluviométrica
1	Río Lluta Alto	1328.4	Río Lluta en Alcerreca
2	*Río Lluta bajo Río Azufre*	*383.6*	*Río Caracarani en Humapalca*
3	Río Caquena	451.9	Río Caquena en Vertedero
4	Río San José alto	1358.4	Acueducto Azapa en Bocatoma
5	Río Codpa hasta Cala-Cala	370.3	Río Codpa en Cala-Cala
6	Río Camarones hasta Conanoxa	2006.3	Río Camarones en Conanoxa
7	Quebrada Camiña hasta Altusa	519.0	Quebrada Camiña en Altusa
8	Quebrada de Tarapacá hasta Sibaya	548.3	Q. Tarapaca en Sibaya
9	Río Collacagua hasta Peñablanca (Huasco)	722.0	Río Collacagua en Peñablanca
10	*Río Piga hasta Collacagua (Huasco)*	*398.9*	*Río Piga en Collacagua*
11	Río Guatacondo hasta Copaquire	189.0	Río Huatacondo en Copaquire
12	Río Loa hasta Lequena	2056.0	Río Loa Antes Represa Lequena
13	Río Salado	2358.0	Río Salado A. J. Loa
14	*Río Salado hasta Curti*	*549.1*	*Río Salado A. J. Curti*
15	Río San Pedro de Atacama	1412.0	Río San Pedro en Cuchabrachi
16	Canal Cuno hasta Socaire	170.3	Canal Cuno en Socaire
17	Río de La Ola (Pedernales)	1224.8	Río La Ola en Vertedero
18	Río Lamas (Maricunga)	1067.6	Río Lamas en El Salto
19	Río Jorquera	4191.6	Río Jorquera en Vertedero
20	Río Pulido	2023.9	Río Pulido en Vertedero
21	Río Manflas	982.6	Río Manflas en Vertedero
22	Río Tránsito hasta Río Carmen	4104.7	Río Transito Antes Junta Río Carmen
23	*Río Transito hasta Angostura de Pinte*	*2780.9*	*Río Transito en Angostura Pinte*
24	Río el Carmen hasta Río el Tránsito	3038.6	Río Carmen en Ramadillas
25	*Río Carmen hasta San Félix*	*2755.1*	*Río Carmen en San Felix*

Fuente: Ref. 3, SIT 221, 2010

Las principales conclusiones del estudio fueron las siguientes:

- Los caudales de salida de las cuencas fueron el resultado de las diferencias entre entradas y salidas que interactúan en cada sistema, y constituyen los valores que pueden ser comparados con los caudales observados para la calibración del modelo, y así definir los valores de los coeficientes de evaporación y de permeabilidad o recarga en cada cuenca.

- Dado que la variable precipitación es en este caso la de mayor importancia para la estimación de recargas, se ha aplicado un método estocástico multivariado para el relleno y extensión de estadísticas mensuales de precipitación, con el objeto de considerar el comportamiento aleatorio de esta variable, que en las estaciones pluviométricas analizadas resulta relevante.

- A partir de los resultados del análisis pluviométrico, se sectorizó el área de estudio en 4 zonas homogéneas, en función del promedio anual de las precipitaciones y de la cota media sobre el nivel del mar.

- Otras variables de interés en el modelo son la evaporación potencial y la temperatura. Esta última para la estimación de la isoterma cero que define la línea de nieve. Se debe señalar la existencia de registros bastante incompletos y pocas estaciones, para la medición de estas dos variables. Se detectó una importante variación del valor de ella al comparar un mismo mes de dos años en una misma estación, lo que indica una menor estabilidad meteorológica respecto a zonas ubicadas más al Sur, que obligó a trabajar con valores mensuales promedio en la modelación.

Ref. 4: Propuesta Metodológica para Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas y de Vertiente Pacífico. Documento de Trabajo. Luis Rojas Badilla y Carlos Salazar M., DGA. Marzo 2010.

Sobre la base de estudios anteriores – SIT Nº 157 y Nº 195 (REF 2) y SIT Nº 221 (REF 3) - y dada la necesidad de contar con una herramienta de aplicación simple, se desarrolló un modelo simplificado del comportamiento de la escorrentía a nivel regional, orientado a estimar la recarga neta en las cuencas del Norte de Chile.

En los estudios señalados, debido a la escasa información hidrológica y al desconocimiento de las propiedades de los suelos, la determinación de la recarga ha mostrado un alto nivel de incertidumbre.

En este trabajo se elaboró una propuesta metodológica que incorpora simplificaciones temporales y espaciales de las variables hidrológicas e hidrogeológicas de mayor importancia, en consistencia con la información disponible, de manera que toda particularidad no cubierta se propague aleatoriamente sobre los resultados. En esta línea, el trabajo es enfocado desde un principio a nivel regional, en dos etapas: 1) Determinación de una relación de largo plazo entre la escorrentía total de salida y la precipitación media sobre la cuenca. 2) Determinación de la recarga neta o efectiva, a partir de los caudales superficiales estacionales de salida de las cuencas.

Relación Escorrentía Total – Precipitación Media

Una primera relación adoptada entre la escorrentía total y la precipitación media de las cuencas del Norte de Chile fue establecida por la JICA (1995), para estimar la recarga media hacia la Pampa del Tamarugal:

$Qs = f * Pc * A$
$Pc = m f + C$
$Qs = Pc * (Pc-C) * A/m$

en donde:

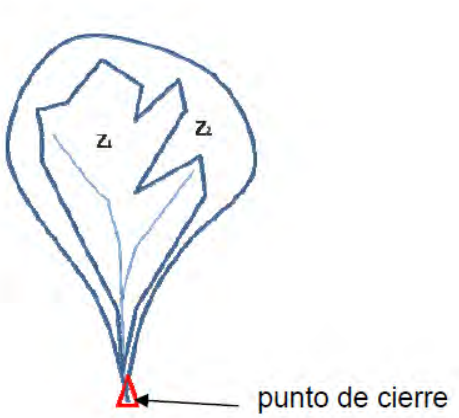
Qs = Escorrentía Total Superficial de salida de la cuenca (largo plazo)
f = Coeficiente de escorrentía de la cuenca
Pc = Precipitación media anual de largo plazo de la cuenca
A = Área de la cuenca

siendo m y C coeficientes de ajuste lineal, y donde se supone flujo subterráneo pasante nulo o poco significativo.

En el presente trabajo se tomó como base la metodología JICA, incorporándole una corrección de tipo hidrogeológico, definiendo 2 tipos de suelos o zonas hidrogeológicas dentro de la cuenca de drenaje:

Zona 1: asociada a distintas formaciones de origen sedimentario
Zona 2: asociada a suelos poco permeables

El planteamiento quedó expresado como sigue:



Q2 = f2 Pc Z2
Q2 /Z1= P2_1
Q1 = f1 (Pc+ P2_1)Z1
Q1 = f1 Pc Z1 +f1f2PcZ2
Pc = m2 f2 + C2
(Pc+ P2_1)= m1 f1 + C1

en donde m1, m2, C1, C2 son coeficientes de ajuste lineal.

Se aplicó esta metodología a las 25 cuencas seleccionadas en el estudio SIT Nº 221 (2010), y se determinó, en base a la comparación de los caudales calculados y observados, que la metodología se comporta en forma satisfactoria para aquellas cuencas – 14 en total – con precipitación anual por sobre los 100 mm. A partir de esto se estableció que el comportamiento de estas cuencas está relacionado exclusivamente con el umbral de precipitación, y no por la localización geográfica de éstas. En las Figuras 4-4 y 4-5 y en el Cuadro 4-4, se presentan los ajustes obtenidos para estas 14 cuencas.

FIGURA 4-4
Precipitación vs. Coef Escorrentía

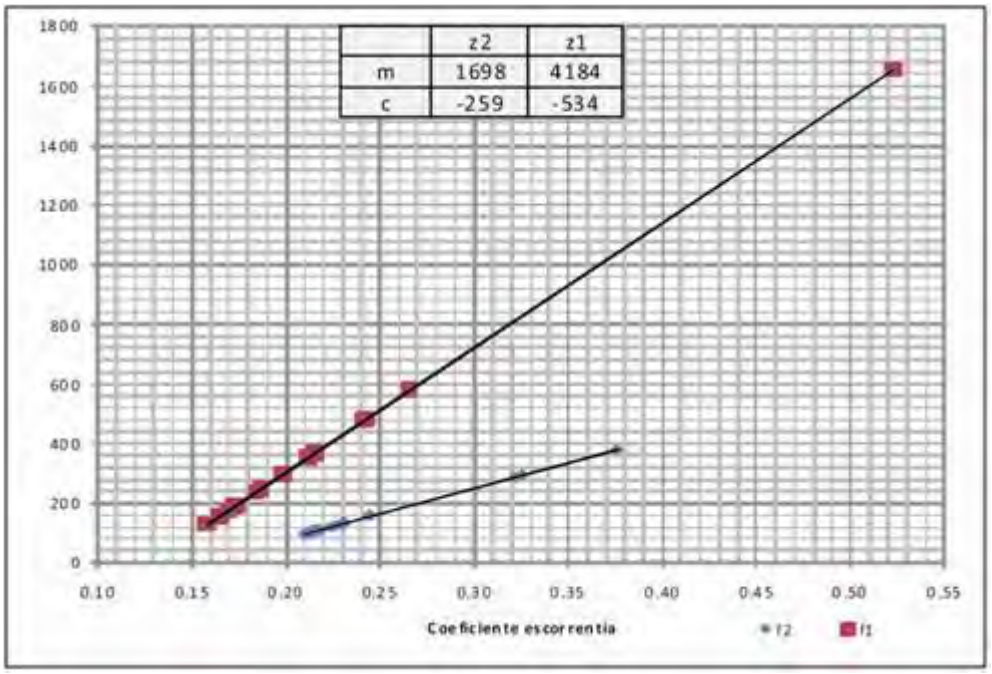
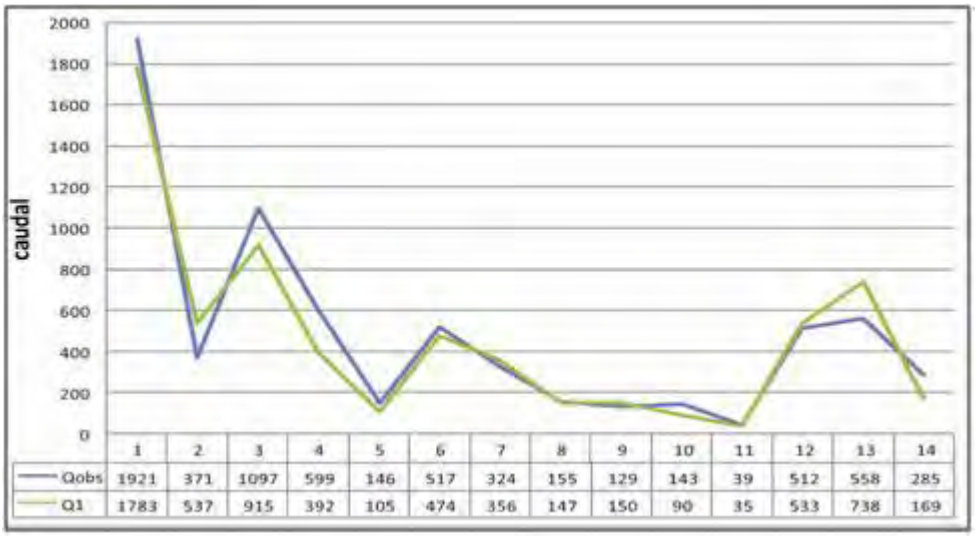


FIGURA 4-5
COMPARACIÓN DE CAUDALES



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Qobs	1921	371	1097	599	146	517	324	155	129	143	39	512	558	285
Q1	1783	537	915	392	105	474	356	147	150	90	35	533	738	169

CUADRO 4-4
CÁLCULO DE PARÁMETROS Y ESCORRENTÍA PARA CUENCAS DE CONTROL

	Nombre de la cuenca	media cuenca (msnm)	Área zona 2 (km^2)	Área zona 1 (km^2)	Area total (km^2)	Q_{ss} (l/s)	P anual prom (mm)	Q_{subte} (l/s)	f2	f1	Q2	P_{2-1}	P1	Q1	Qobs
1	Río Lluta Alto	4345	614	713	1327	12452	287	1921	0.32	0.22	1796	79	366	1783	1921
2	Río Lluta bajo Río Azufre	4448	170	211	381	3690	294	571	0.33	0.22	516	77	371	537	571
3	Río Caquena	4672	260	188	448	5474	380	1097	0.38	0.27	1179	198	578	915	1097
4	Río San José alto	3386	980	378	1358	5287	120	599	0.22	0.17	832	69	189	392	599
5	Río Codpa hasta Cala-Cala	3901	326	44	370	1588	131	146	0.23	0.21	311	223	354	105	146
6	Río Camarones hasta Conanoxa	3177	1435	571	2006	6728	103	517	0.21	0.17	999	55	158	474	517
7	Quebrada Camiña hasta Aiiusa	4084	506	13	519	2623	157	324	0.24	0.52	617	1497	1654	356	324
8	Quebrada de Tarapaca hasta Sibo	4214	508	40	548	2226	124	155	0.23	0.24	450	355	479	147	155
9	Río Collacagua hasta Pe/ablanca	4294	640	81	721	2526	109	129	0.22	0.20	479	187	296	150	129
10	Río Piga hasta Collacagua (Huasc	4292	333	65	398	1430	112	143	0.22	0.18	258	125	237	90	143
11	Río Guatacondo hasta Copaquire	4347	156	33	189	599	97	39	0.21	0.17	101	96	193	35	39
12	Río Loa hasta Lequena	4102	1522	574	2096	7573	110	512	0.22	0.17	1153	63	173	533	512
13	Río Salado	3602	1210	1141	2351	8009	105	558	0.21	0.16	863	24	129	738	558
14	Río Salado hasta Curti	4285	432	115	547	2374	133	285	0.23	0.19	430	115	248	169	285

Fuente: Ref. 4, DGA 2010

Determinación de la Recarga Neta

Las hipótesis y conceptos hidrológicos base fueron los siguientes:

a) Los caudales medidos a la salida de las cuencas representan la escorrentía total, por lo tanto los flujos subterráneos pasantes serían despreciables.
b) Se define la recarga neta de la cuenca como el caudal base de salida, compuesto por el agua que infiltra y transita en algún momento en forma subterránea, tal que su permanencia dentro de la cuenca es superior al de un año hidrológico.
c) La recarga neta o caudal base de salida de la cuenca puede ser estimado, en términos de caudal medio mensual, como el promedio de los mínimos decadales observados entre los meses de Junio, Julio y Agosto. Este supuesto se sustenta en el hecho de que en esos meses las precipitaciones en las cuencas seleccionadas son escasas. Además, existe un consenso respecto a que la hidrología del Norte se puede describir en base a ciclos hidrológicos decadales, por lo que el flujo base se puede estimar con el promedio de 4 mínimos decadales observados.

Habiéndose graficado los caudales mínimos estacionales en función de la escorrentía total observada y la escorrentía total simulada, se determinó

que entre un 37 % y un 40 % de la escorrentía total de salida de una cuenca altiplánica corresponde al flujo base o recarga neta.
En estos resultados, se debe tener en cuenta, sin embargo, que la condición de flujo subterráneo saliente igual a cero no es válida necesariamente, y pueden existir sectores específicos con una gran capacidad de transmisión de caudal subterráneo, permitiendo transitar todo el caudal base y parte de la escorrentía estacional.

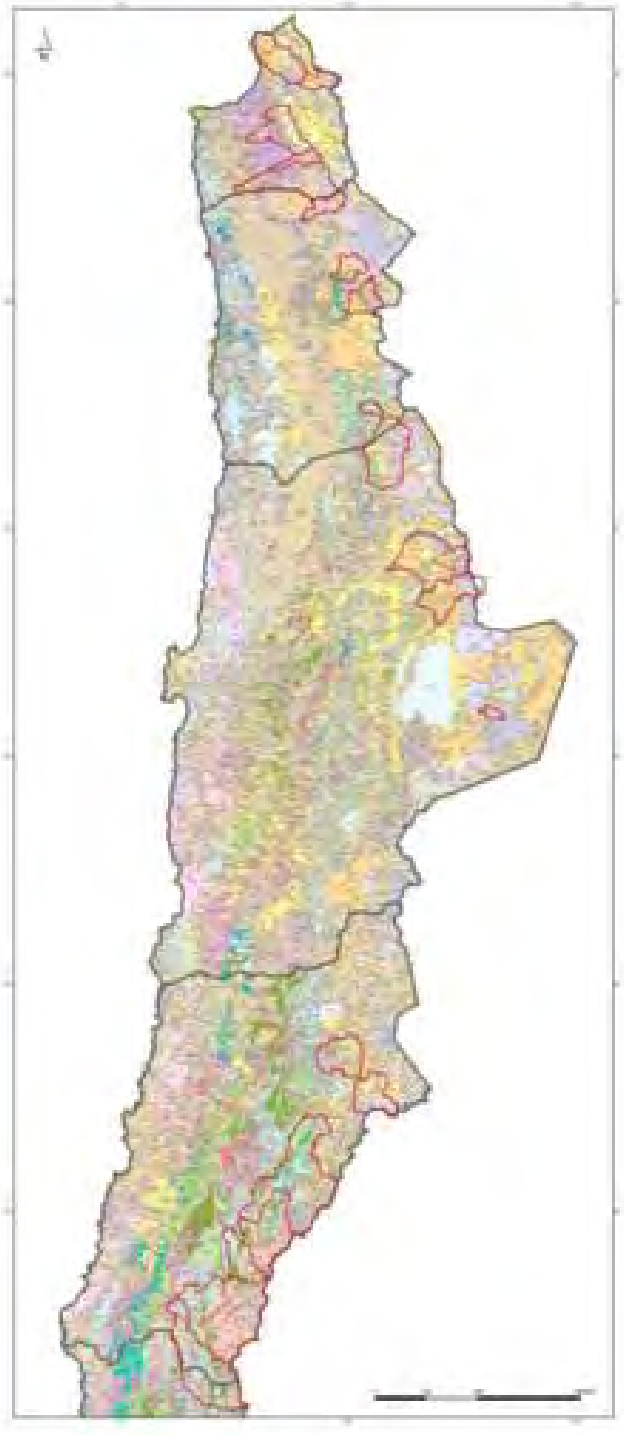
Evidentemente, en estos casos se genera un recurso subterráneo adicional al de largo plazo o recarga neta (Rn), y que puede considerase como un recurso de mediano a corto plazo que requerirán de estudios específicos para su evaluación. Estas cuencas se identifican por presentar escurrimiento superficial sólo en algunos meses del año, así como, poseer una formación acuífera consistente con el nivel de caudales involucrados.

Un caso especialmente interesante es el de cuencas o secciones de paso que no presentan flujo superficial alguno, como por ejemplo, las zonas de orilla en salares o zonas terminales de cuencas altiplánicas endorreicas, específicamente en sectores previos a la manifestación de los afloramientos naturales propios de estos sistemas. En estos casos, la escorrentía total estimada debe incluir los recursos subterráneos pasantes.

Ref. 5: Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica, SIT Nº 251, Aquaterra Ingenieros Ltda., Septiembre de 2011.

El principal objetivo fue estimar la recarga de agua de las principales cuencas altiplánicas o de vertiente pacífica, entre las regiones de Arica y Parinacota (XV) y la región de Atacama (III).

FIGURA 4-6
AREA DE ESTUDIO



Fuente: Ref. 3, SIT 221, 2010

Lo anterior se realizó sobre la base de la información disponible y requerida por la metodología desarrollada por la DGA en el año 2010 (Ref. 4). Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Realizar un análisis crítico de la metodología propuesta por la DGA, tomando en consideración el error esperado sobre las simplificaciones metodológicas y alcances de la misma.

- Desarrollar un análisis sistemático de la información física disponible (hidrología, geomorfología, hidrogeología, geología y usos) de las cuencas a considerar, que incluya las simplificaciones físicas, temporales y espaciales deducidas del modelo conceptual propuesto por la DGA, así como de la información administrativa de derechos y uso del agua.

- Desarrollar actividades de análisis y de terreno para el ajuste y mejora de la metodología, a partir de las recomendaciones del estudio señalado.

- Aplicar la metodología propuesta sobre la base de los antecedentes sistematizados.

- Efectuar balances hídricos de carácter preliminar sobre la base de los antecedentes de derechos y usos que se encuentren disponibles.

- Efectuar una validación a nivel de cuenca, que considere al mismo tiempo una coherencia regional.

Un resumen del estudio se presenta a continuación:

- Se efectuó una completa recopilación de antecedentes de los últimos trabajos desarrollados en el área de estudio. Ello permitió un mejor conocimiento hidrológico de las cuencas altiplánicas (pluviometría y fluviometría), corregir y generar nueva información en cuencas de interés, y corroborar y/o modificar relaciones asociadas a generación de caudales medios mensuales en cuencas no controladas, así como también relaciones de cálculo de recargas en forma indirecta. Además, a través del análisis de estudios anteriores, se pudo mejorar relaciones precipitación – escorrentía que habían sido obtenidas en trabajos recientes.

- En el documento desarrollado por la DGA, se definió como recarga neta de una determinada cuenca como el caudal base de salida,

compuesto por el agua que infiltra y transita en algún momento en forma subterránea, tal que su permanencia dentro de la cuenca es superior al de un año hidrológico. Dicha recarga neta ha sido estimada, en términos de caudal medio mensual, como el promedio de los mínimos decadales observados entre los meses de Junio, Julio y Agosto.

- En 25 cuencas altiplánicas con información de caudales medios mensuales observados, se correlacionaron los caudales medios mensuales mínimos decadales (Junio, Julio y Agosto) con los caudales observados, obteniendo una correlación lineal con un coeficiente R^2 de 0,98. Dicha correlación lineal da cuenta que, bajo la hipótesis anterior, la recarga neta en una determinada cuenca corresponde al 40 % del caudal observado (caudal total si el caudal subterráneo en la sección de medición del caudal es despreciable). En caso que se detecte que en la sección de salida de la cuenca de análisis existe flujo subterráneo, la recarga neta sería el 40 % del caudal observado más dicho flujo subterráneo.

- Previo al análisis de las relaciones precipitación – escorrentía en cuencas altiplánicas que fueron desarrolladas, se analizaron los resultados de generación de precipitaciones medias mensuales y anuales hechas en estudios recientes. Se generó una metodología de generación de precipitaciones (medias mensuales y anuales) en cualquier cuenca altiplánica, a través de un procedimiento de crear una manto de precipitaciones a través de Arc Gis (Topo To Raster), a partir de las isoyetas del estudio del Balance Hídrico. Esta metodología desarrollada toma en cuenta el aumento de las precipitaciones con la altura. Importante es destacar que el manto de precipitaciones anuales se deben generar (Arc Gis) con pixeles de 1.000 m x 1.000 m

- Se obtuvo una relación que permite determinar caudales medios mensuales totales a la salida de una cuenca sin control fluviométrico, sólo a partir de las precipitaciones y del área total de la cuenca. Para validar la relación se usaron las mismas 25 cuencas con control fluviométrico indicadas anteriormente. La relación utiliza la precipitación media anual sobre la cuenca, o bien puede ser aplicada utilizando las precipitaciones de invierno (abril – septiembre) y de verano (octubre – marzo), siendo con esta última alternativa que se obtuvieron mejores resultados (coeficiente de correlación lineal R2= 0,93). La relación y parámetros finales es la siguiente:

$$f = \frac{P - c}{m} \qquad Qcal = f \; x \; P \; x \; \text{Área Cuenca}$$

donde:

f= f invierno o f verano
P= P invierno (suma de abril a septiembre); P verano (suma de octubre a marzo)
Q cal= se calcula el caudal de invierno y el caudal de verano; el caudal total generado es la suma de los 2.
m y c = parámetros obtenidos de la regresión lineal entre P y freal = (Qobs/P*Area cuenca)

- Se hizo un análisis del comportamiento de la relación frente a las siguientes variables: Tamaño de la Cuenca, Ubicación (Latitud – Longitud) de la Cuenca, Altitud Media de la Cuenca, Productividad de las Cuencas según Montos de Precipitaciones, Influencia Cuenca Altiplánica, Intervalo de Confianza.

- Respecto al tamaño de la cuenca, el coeficiente de correlación mejora a medida que el área de la cuenca aumenta (de 0 a 1.000 km2, 11 cuencas, R2= 0,53; de 1.000 a 2.000 km2, 6 cuencas, R2= 0,86; mayor a 2.000 km2, 8 cuencas, R2= 0,95).

- Respecto a la ubicación de la cuenca (Latitud), la relación se comporta mejor en las Regiones XV y I, y en la III región; en la II Región la correlación es baja. Es importante destacar la buena correlación que se obtuvo en las cuencas ubicadas en las Regiones XV y I, siendo ésta de 0,96.

- Entre Latitud 17º 30´y 20º 30´; 10 Cuencas: R2= 0,96
- Entre Latitud 20º 30´y 24º 00´; 6 Cuencas: R2= 0,55
- Entre Latitud 26º 00´y 30º 00´; 9 cuencas: R2= 0,91

- Tomando como parámetro la altitud media de la cuenca, se obtuvieron (para 2 rangos de altitud) mejores correlaciones para aquellas cuencas que se localizan entre los 3.000 y 4.000 msnm (R2= 0,93, versus 0,79 para cuencas cuyo rango de altitud varía entre los 4.000 y 5.000 msnm).

- Se validó que la productividad de una cuenca altiplánica (l/s/km2) aumenta con la precipitación media anual.

- Se aplicó la relación en cuencas que no son altiplánicas, y se llegó a la conclusión que no es aplicable a dicho tipo de cuencas (no altiplánicas).

- Se calculó el intervalo de confianza de la relación aplicada a las 25 cuencas con control fluviométrico. Con un 95 % de nivel de confianza, el caudal calculado estará dentro de un rango promedio de variación de 139 l/s.

- Se llevaron a cabo trabajos de terreno, correspondientes a prospecciones geofísicas con el método de Transiente Electromagnético (Nano TEM). Dichas prospecciones, las cuales permiten estimar la estratigrafía de la sección de análisis así como también la profundidad del agua subterránea, se hicieron a la salida de 14 cuencas altiplánicas (incluidas dentro de las 25 usadas en la validación de la relación P-E) en la ubicación de estaciones fluviométricas. El objetivo de estos trabajos fue calcular el flujo subterráneo pasante en cada una de las 14 secciones, y así validar la determinación de la recarga. Es decir, si el caudal subterránea resulta nulo, la recarga efectivamente es un 40 % de la escorrentía total generada; de lo contrario, a dicha recarga hay que agregar el flujo subterráneo calculado.

- A partir de los resultados de las prospecciones geofísicas, se asignaron permeabilidades a cada uno de los estratos definidos, se calculó la permeabilidad equivalente en cada sección, y luego, conociendo la sección y la pendiente del agua subterránea, que se supuso similar a la pendiente del terreno, se pudo estimar el caudal subterráneo pasante en cada una de las secciones.

- Los flujos subterráneos calculados son despreciables respecto al caudal medido en la estación fluviométrica correspondiente, corroborando que, al menos en las 14 cuencas analizadas, el flujo observado corresponde al caudal total que escurre por dicha sección.

- En 2 cuencas los flujos subterráneos fueron entorno al 10 % del flujo medido en la estación; en la cueca de Guatacondo el caudal subterráneo calculado fue de 4 l/s y el medido es 39 l/s. El valor del caudal subterráneo estaría dentro de los rangos de error de su determinación. Por ello, se puede establecer que esta cuenca no debiera ser considerada en los análisis. En la cuenca del río San José la sección de análisis presenta una alta permeabilidad y una

importante sección de escurrimiento; el caudal subterráneo calculado fue de 77 l/s mientras que el caudal medido es 599 l/s.

- De acuerdo con lo anterior, la hipótesis de que en las secciones de salida de las cuencas el caudal medido corresponde al caudal total, y por consiguiente el caudal generado también, se cumple en la generalidad de los casos, pero hay que tener en cuenta que el análisis en futuras cuencas donde se desee aplicar la metodología, se debe analizar con detención las características hidrogeológicas de la sección de salida de la cuenca específica correspondiente.

- Se efectuaron balances hídricos globales y preliminares en 11 cuencas altiplánicas sin control fluviométrico, aplicando la relación P-E desarrollada. Cada una de ellas fueron subdivididas en subcuencas, cerrando los balances intermedios en estaciones fluviométricas.

- A partir de los caudales generados y observados en las subcuencas incluidas en los balances hídricos, se correlacionaron entregando buenos coeficientes de correlación lineal (R2= 0,87 y R2= 0,97 eliminado 2 subcuencas). Lo anterior valida la relación P-E desarrollada.

Las principales conclusiones de este estudio fueron las siguientes:

a) Se ha formulado una relación simple que permite calcular el caudal total en cualquier cuenca altiplánica, conociendo sólo la precipitación media mensual y el área de la cuenca.
b) A su vez, se desarrolló una metodología simple que permite calcular las precipitaciones medias mensuales en cualquier cuenca altiplánica ubicada entre las regiones de Arica y Parinacota (XV) y la región de Atacama (III).
c) Se pudo corroborar que le recarga en una determinada cuenca altiplánica corresponde, aproximadamente, al 40 % del caudal total de dicha cuenca. A su vez, en la generalidad de los casos, el caudal generado con la relación P-E corresponde al caudal total de la cuenca, excepto cuando en la sección de cierre de la cuenca exista un relleno con características hidrogeológicas favorable que sugieran que escurre un caudal subterráneo importante. En ese caso, la recarga en la cuenca se debiera considerar como el 40 % del caudal generado más el caudal subterráneo pasante por la sección de cierre de la cuenca.

d) Para futuras aplicaciones de la relación P-E, se debe tener en cuenta que ésta se comporta mejor a medida que el área de la cuenca altiplánica aumenta. En las regiones XV y I la relación tiene una excelente correlación lineal con los caudales observados (R2= 0,96); no ocurre lo mismo en la II Región (R2= 0,55). Respecto a la altitud media, mejores resultados se obtienen en rangos de altura media entre 3.000 y 4.000 msnm.

Ref. 6: Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas, Región de Atacama, SDT N° 334, Diciembre de 2012.

El principal objetivo de este estudio fue estimar la recarga mínima en las cuencas altiplánicas de la Región de Atacama, aplicando la metodología desarrollada en el Informe Técnico "Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas Seleccionadas" (SDT Nº 317, DEP-DGA, 2011), para apoyar en la evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos en el área de estudio. Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Analizar la metodología desarrollada para verificar si las cuencas en estudio cumplen con las restricciones y consideraciones establecidas en ella.

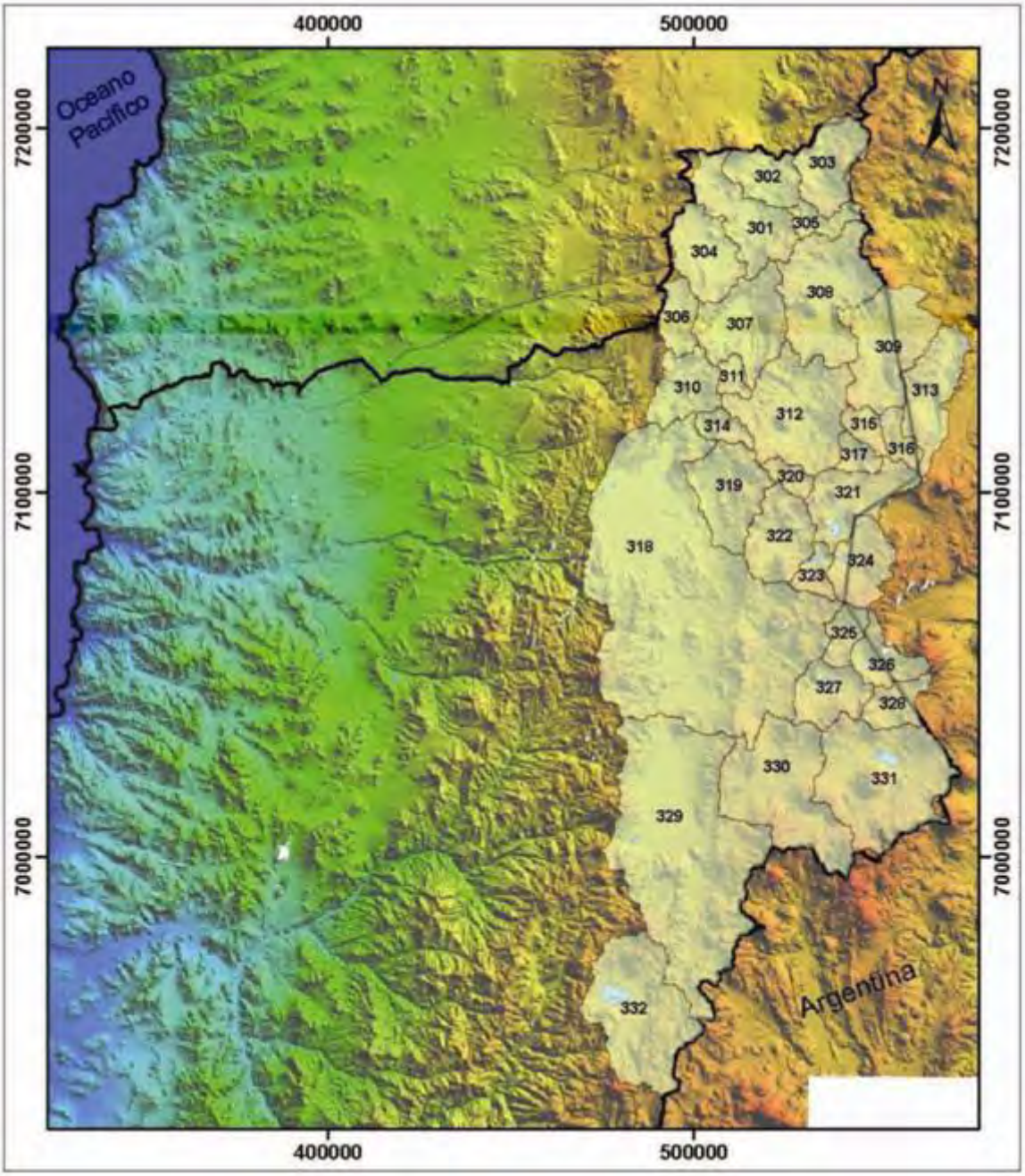
- Calcular la precipitación media anual y los coeficientes de escorrentía de invierno y verano de cada cuenca.

- Determinar la componente de precipitación de invierno y verano de cada cuenca según su ubicación geográfica.

- Calcular el caudal medio anual de salida y la recarga neta mínima de cada cuenca.

El área de estudio coincide con el del presente trabajo, y abarca las 32 cuencas de características endorreicas en la franja del Altiplano o Puna de la Región de Atacama (REF 2) (SIT Nº 157, DICTUC, 2009).

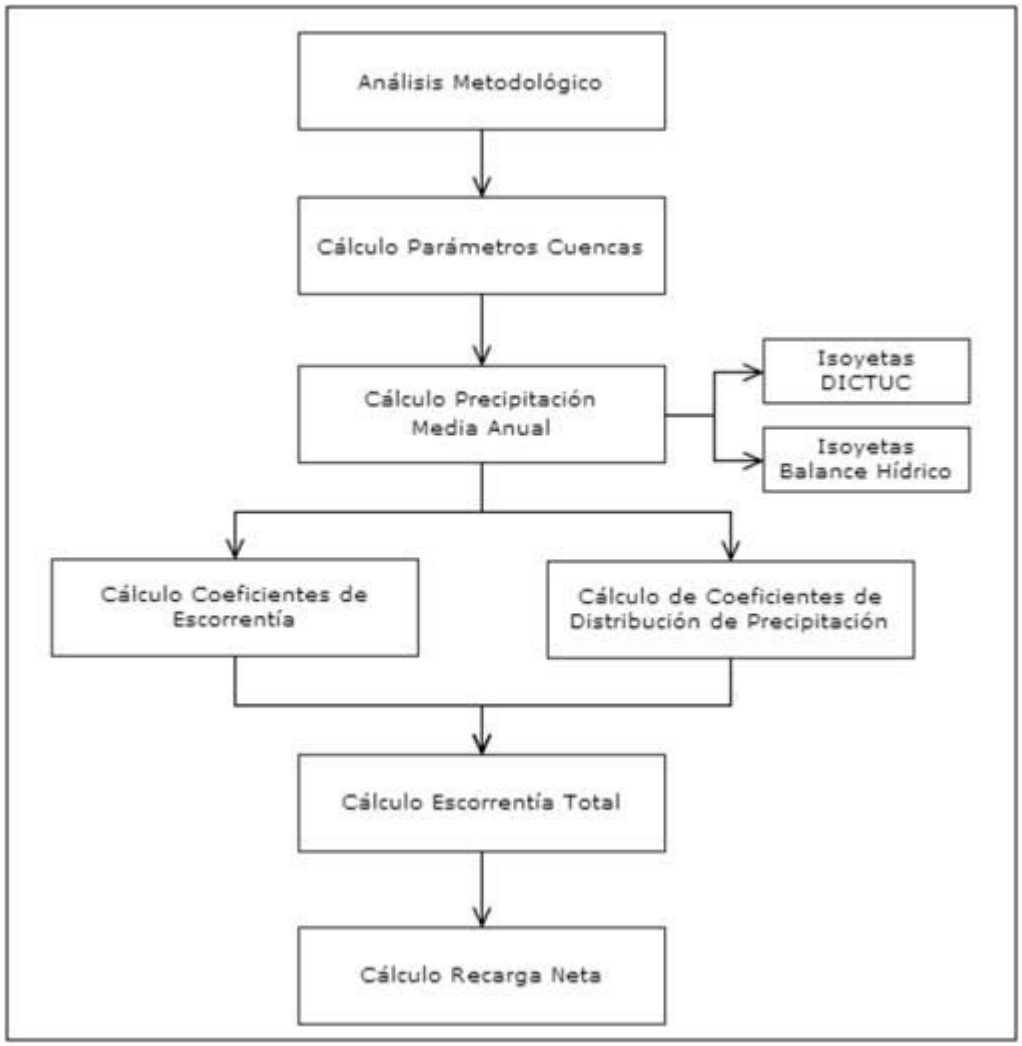
FIGURA 4-7
AREA DE ESTUDIO



Fuente: Ref. 6, SDT 334, 2012

El esquema metodológico aplicado en este trabajo se muestra en el siguiente esquema:

FIGURA 4-8
ESQUEMA METODOLOGICO



Fuente: Ref. 6, SDT 334, 2012

Relación Precipitación-Escorrentía

Para esto, se utiliza como base conceptual el modelo desarrollado en " The Development of Water Resources in Northern Chile" (JICA-DGA, PCI, 1995), cuya relación es:

$$Q_{salida} = f * P * A \quad (1)$$

$$P = m * f + c \quad (2)$$

donde

P = Precipitación media anual de largo plazo en la cuenca
Q salida = Caudal medio superficial de salida de la cuenca
A = área de la cuenca
f = coeficiente de escorrentía de la cuenca
m y c = coeficientes de ajuste lineal.

Se señala que este modelo no presenta buen ajuste en los siguientes casos: a) cuencas ubicadas al Norte de la coordenada UTM 7.500.000 Norte, y b) cuencas con precipitación media anual menor a 100 mm. Para incorporar la variante geológica en este modelo, es decir, la que considera la geología superficial de la cuenca, se deben cumplir ambas condiciones. Como las cuencas del área de estudio, se ubican al Sur de la coordenada indica, se concluye que la variante geológica no puede ser incorporada al modelo.

De acuerdo al Informe técnico SDT N° 317, la precipitación media sobre la cuenca y su distribución latitudinal resulta ser la variable más importante por sobre las condiciones geológicas del área de estudio.

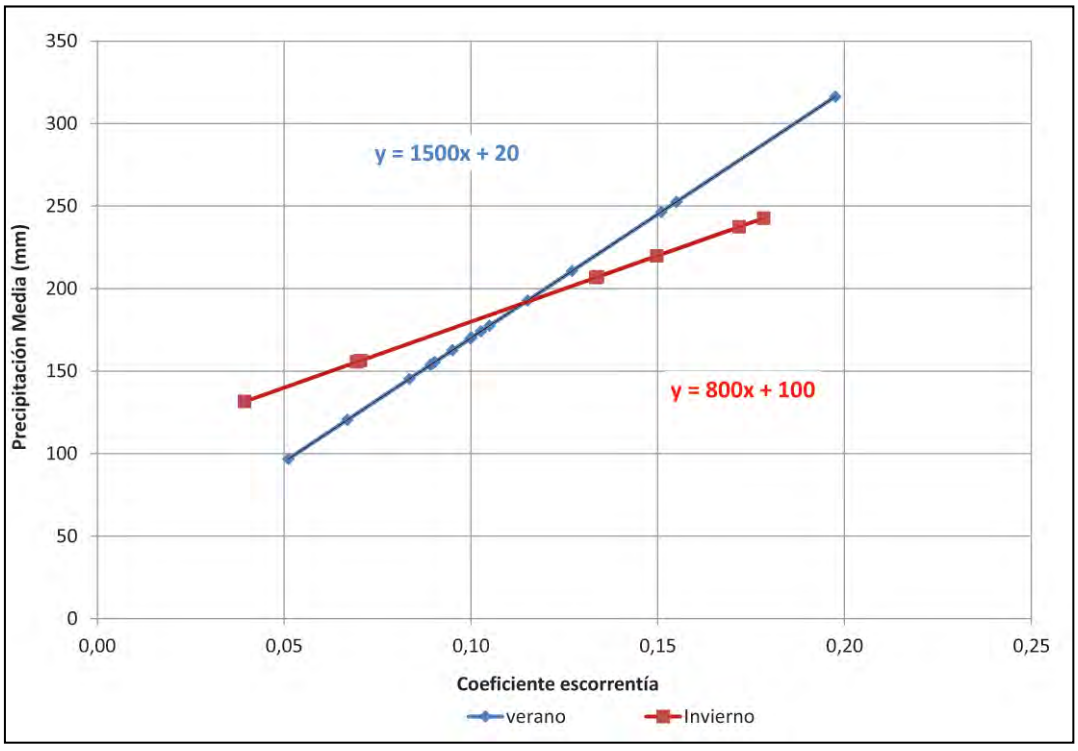
En consecuencia, en la relación de Jica se consideró únicamente la variante hidrológica "Precipitación". Se complejizó, sin embargo, este modelo, dividiendo la precipitación anual, en una precipitación de invierno y una precipitación de verano. Se aplicó así el modelo anterior, separadamente para invierno y verano, obteniéndose, en consecuencia, un caudal medio de salida de invierno y uno de verano, para finalmente obtener un caudal total de salida, igual a la suma de los dos anteriores.

Para la determinación de la precipitación media anual en cada cuenca, se utilizaron independientemente tanto las isoyetas del Balance Hídrico (1987) como las del estudio SIT Nº 157 (DICTUC, 2009). La diferencia porcentual promedio de las precipitaciones medias anuales de las cuencas consideradas, al utilizar las isoyetas de uno y otro estudio, es de un 5,7%. Esta diferencia mínima, avala el uso de las isoyetas del Balance Hídrico en este tipo de estudios, donde se aplican metodologías simplificadas por no contar con mayor información.

En tanto, los coeficientes de distribución de precipitación de invierno y de verano, se obtuvieron teniendo como base los antecedentes del estudio SDT Nº 317.

Se obtuvieron luego los coeficientes de escorrentía de invierno y de verano, a partir de las precipitaciones respectivas en cada cuenca, según se indica en la Figura 4-9, con el consecuente cálculo de caudales de invierno y verano, mediante la relación (1) antes señalada.

FIGURA 4-9
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA VS PRECIPITACIÓN



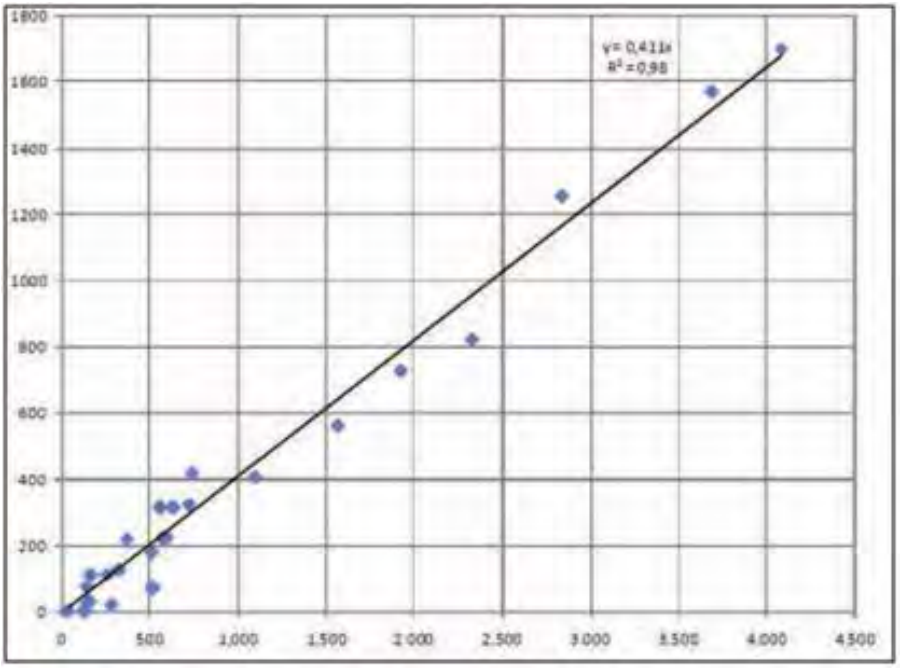
Recarga

Para estimar la recarga neta se procede a correlacionar el caudal medio anual de salida observado en las cuencas seleccionadas, con el promedio de los caudales medios mensuales mínimos decadales, considerando los meses de junio, julio y agosto de cada año.

Se asume que estos caudales mínimos representan el caudal base interanual o recarga neta de la cuenca. Y se supone además, que en la sección de salida de la cuenca, los flujos subterráneos son despreciables.

De manera que en la correlación anteriormente señalada, se correlaciona la recarga neta con el caudal medio anual de salida de la cuenca. La relación obtenida se presenta en la Figura 4-10.

FIGURA 4-10
CAUDAL MÍNIMO MEDIO DECADAL VS CAUDAL MEDIO ANUAL OBSERVADO



De esta relación se desprende que la recarga neta representa aproximadamente el 40% del caudal medio anual superficial de salida de la cuenca.

CUADRO 4-6
RECARGA NETA MÍNIMA

Nº	Cuenca	Qver	Qinv	Qtot	Recarga Neta Mínima
		(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
301	Salar de Agua Amarga	9,43	0,00	9,43	3,77
302	Salar de la Azufrera	5,28	0,00	5,28	2,11
303	Salar de Gorbea	11,44	0,00	11,44	4,58
304	Cerro Blanco	0	0	0	0
305	Qda. La Rossa	4,01	0,18	4,19	1,68
306	Cerro El Encanche	0	0	0	0
307	Salar de Aguilar	5,13	0,00	5,13	2,05
308	Salar de La Isla	16,70	17,75	34,45	13,78
309	Salar de Las Parinas	11,74	21,87	33,61	13,44
310	Salar de Infieles	1,25	0,00	1,25	0,50
311	Cerro Conito de los Infieles	0,49	0,00	0,49	0,20
312	Salar Grande	8,91	0,00	8,91	3,56
313	Laguna de Colorados	5,49	24,47	29,97	11,99
314	Qda. Los Maranceles	0,72	0,00	0,72	0,29
315	Qda. El Llano	1,37	6,12	7,49	3,00
316	Qda. La Trinchera	1,20	7,84	9,04	3,62
317	Laguna de Las Parinas	1,03	6,71	7,73	3,09
318	Salar de Pedernales	15,98	3,93	19,91	7,96
319	La Laguna	3,11	21,79	24,89	9,96
320	Cerro Agua de Morales	0,76	7,34	8,10	3,24
321	Lagunas Bravas	2,69	38,14	40,83	16,33
322	Salar de Piedra Parada	1,90	39,73	41,63	16,65
323	Lagunas del Jilguero	0,56	11,78	12,35	4,94
324	Laguna del Bayo	1,17	36,38	37,55	15,02
325	Sierra Nevada	0,35	17,78	18,13	7,25
326	Laguna Escondida	0,33	29,39	29,72	11,89
327	Wheelwrigth	0,21	42,24	42,46	16,98
328	Qda. Las Amarillas	0,13	26,53	26,67	10,67
329	Salar de Maricunga	0,88	589,98	590,86	236,34
330	Piedra Pomez	0,55	268,08	268,63	107,45
331	Laguna Verde	0,02	416,08	416,10	166,44
332	Laguna del Negro Francisco	0,00	546,96	546,96	218,78

Fuente: Ref. 6, SDT 334, 2012

Tal cual fuera señalado, se ha efectuado una revisión de antecedentes y estudios que pudiese haber en los siguientes organismos.

a) Dirección General de Aguas (DGA)

En el catálogo bibliográfico de la DGA (http://sad.dga.cl/) se investigaron estudios que tuvieran relación con recursos hídricos en la zona de interés, encontrando los siguientes trabajos en formato magnético:

Ref. 7: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar, Convenio de Cooperación DGA – UCN – IRD, 1999.

Ref. 8: Informe Preliminar Sobre la Factibilidad Técnica Ecológica de Extraer Aguas de la Laguna del Negro Francisco, III Región, DGA, Rolf Behncke C., Febrero 1987.

Ref. 9: Nuevos Recursos de Agua Industrial Llano de Pedernales, Proyecto Obras Sondajes Llano de Pedernales, 1982.

Ref. 10: Análisis de la Situación Hidrológica e Hidrogeológica de la Cuenca del Salar de Maricunga, III Región. DGA, Departamento de Estudios y Planificación (2006). S.D.T. Nº 255.

Ref. 11: Balance Hidrológico Nacional, Regiones III y IV, IPLA, DGA, 1984.

Ref. 12: Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras. Zona I Norte, Regiones I a IV, SIT Nº 122, AC Ingenieros, DGA, 2007.

Ref. 13: Derechos, Extracciones y Tasas Unitarias de Consumo de Agua del Sector Minero Regiones Centro – Norte de Chile. Proust Consultores, DGA, SIT Nº 146, Marzo 2008.

Ref. 37: IT DARH Nº 52, Actualización de la Demanda Comprometida en los Sectores Acuíferos Salar de Pedernales Norte y Salar de Pedernales Sur, DARH, 15 de Marzo de 2013.

Ref. 38: IT DARH Nº 131, Evaluación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos Subterráneos en los Sectores Acuíferos Salar de Pedernales Norte y Salar de Pedernales Sur, 12 de Junio de 2013.

Ref. 39: Resolución DGA Nº 44 del 24 de Julio de 2013, que declara como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas los

sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados Salar de Pedernales Norte y Salar de Pedernales Sur.

b) Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)

A través de la página web http://www.sea.gob.cl/, (http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php), es factible acceder a Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) que hayan sido ingresadas al SEA. En el presente estudio se recopiló información de interés (geología, hidrogeología, etc.) en EIA de proyectos mineros de la III Región (aquellos ubicados dentro o muy cerca de las cuencas de interés).

Es importante destacar que todos los EIA y DIA que se encuentran en la página web indicada, y cuya información del proyecto específico está en formato digital, son aquellos cuya fecha de presentación fue el 1º de Septiembre de 1992 en adelante; no se revisaron DIA debido a que sólo tienen relación con pequeños proyectos y además no es mucha la información que eventualmente podría ser útil.

En el Cuadro 4-7 se incluye la información de los estudios revisados y si tienen Resolución de Calificación Ambiental (RCA).

CUADRO 4-7
EIA PROYECTOS MINEROS REVISADOS EN WEB SEA

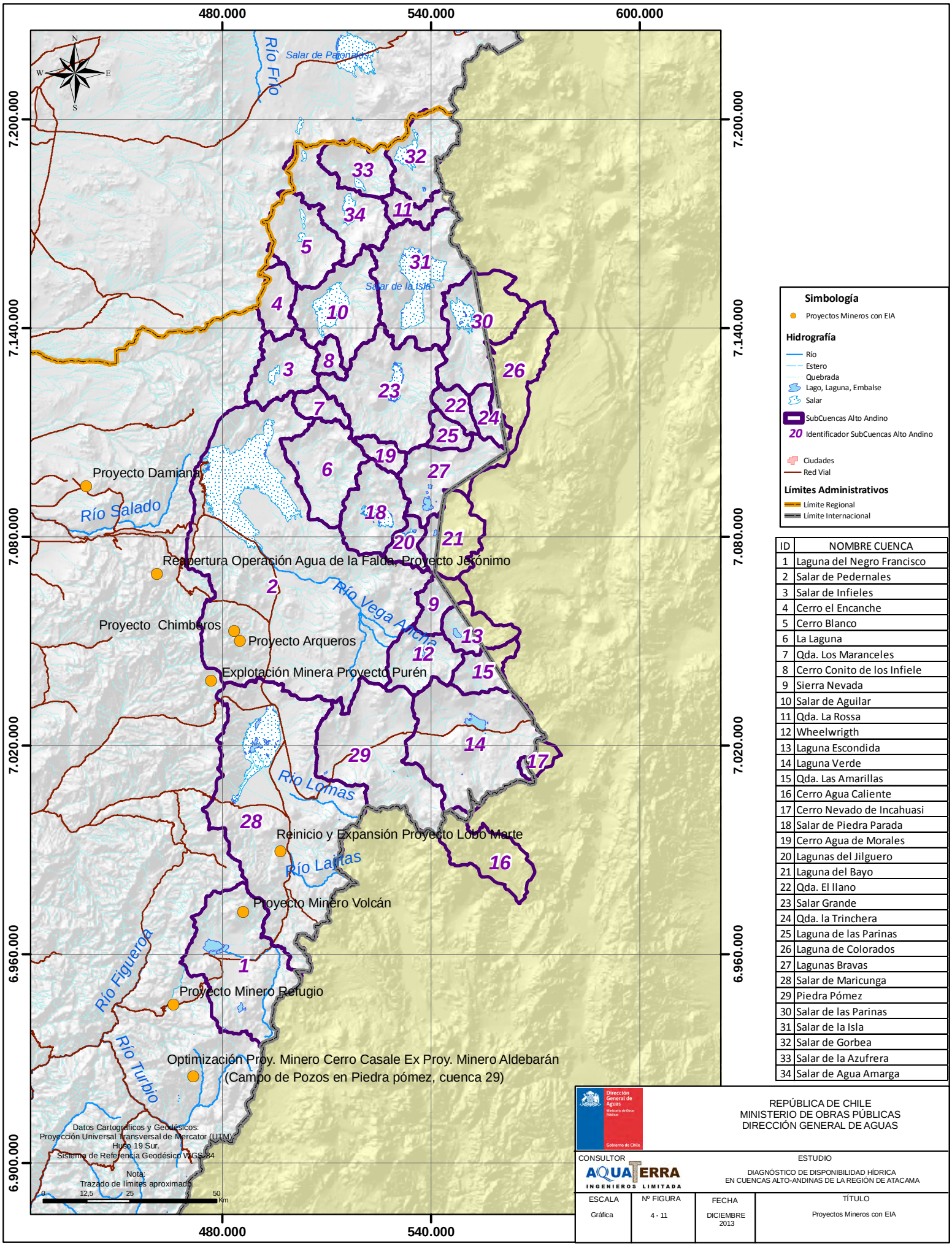
Proyectos Revisados	Proyectos en Zona de Interés	Proyectos en Zona de Interés con Información	RCA
Proyecto Cerro Blanco	Reapertura Operación Agua de la Falda, Proyecto Jerónimo	Ref. 14: Reapertura Operación Agua de la Falda, Proyecto Jerónimo	NO
Proyecto Diego de Almagro	Proyecto Minero Volcán	Ref. 15: Proyecto Minero Volcán	NO
Reapertura Operación Agua de la Falda, Proyecto Jerónimo	Proyecto Arqueros	Ref. 16: Proyecto Arqueros	SI
Proyecto Diego de Almagro	Optimización Proyecto Minero Cerro Casale	Ref. 17: Optimización Proyecto Minero Cerro Casale	SI
Explotación Minera Oso Negro	Reinicio y Expansión Proyecto Lobo Marte	Ref. 18: Reinicio y Expansión Proyecto Lobo	NO

Proyectos Revisados	Proyectos en Zona de Interés	Proyectos en Zona de Interés con Información	RCA
		Marte	
Proyecto Minero Volcán	Explotación Minera Proyecto Purén	Ref. 19: Explotación Minera Proyecto Purén	SI
Proyecto Arqueros	Proyecto Damiana	Ref. 20: Proyecto Damiana	SI
Optimización Proyecto Minero Cerro Casale	Proyecto Minero Aldebarán	Ref. 21: Proyecto Minero Aldebarán	SI
Reinicio y Expansión Proyecto Lobo Marte	Mejoramiento de la Ventilación Principal de la Mina	Ref. 22: Proyecto Chimberos	SI
Proyecto de Ampliación Mina Jilguero	Damiana Norte	Ref. 23: Proyecto Minero Refugio	SI
Depósito de Relaves en Pasta Sector 5	Proyecto Chimberos		
EIA Ampliación y Mejoras Operacionales en Mina Los Colorados	Proyecto Minero Refugio		
Estudio de Impacto Ambiental Proyecto El Morro	Proyecto de Lixiviación Quebrada M.		
Proyecto Caserones			
Aumento Capacidad de Tratamiento y Reducción de Emisiones en la Planta Cerrillos, de COEMIN S.A.			
Cerro Negro Norte			
Modificaciones Proyecto Pascua Lama			
Ampliación Tranque Pampa Austral IV Etapa			
Explotación Minera Proyecto Purén			
Proyecto Damiana			
Proyecto Minero Aldebarán			
Mejoramiento de la Ventilación Principal de la Mina			
Pascua Lama			
Planta Norte			
Modificación Proyecto Minero Alcaparrosa			
Explotación Minera y			

Proyectos Revisados	Proyectos en Zona de Interés	Proyectos en Zona de Interés con Información	RCA
Producción de Clinker y Cemento			
Damiana Norte			
Proyecto Chimberos			
Los Colorados Este			
Segunda Fase Proyecto Candelaria			
El Bronce de Atacama			
Proyecto Minero Pucobre			
Proyecto Minero Dos Amigos			
Manto Agua de la Falda			
Proyecto Minero Refugio			
Proyecto Minero Manto Verde			
Proyecto de Lixiviación Quebrada M.			
Proyecto Candelaria Fase I			

Fuente: Elaboración propia. http://www.sea.gob.cl/

En la Figura 4-11 se muestra la ubicación y nombre de aquellos EIA de proyectos cuya información será utilizada en el presente estudio; hay que destacar que algunos de los proyectos antes señalados se ubican fuera del área de interés, pero sus captaciones de agua se ubican dentro. También hay varios proyectos mineros que no tiene EIA (probablemente los EIA fueron presentados con anterioridad al año 1992).



Simbología

- Proyectos Mineros con EIA

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- SubCuencas Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

- Límite Regional
- Límite Internacional

ID	NOMBRE CUENCA
1	Laguna del Negro Francisco
2	Salar de Pedernales
3	Salar de Infieles
4	Cerro el Encanche
5	Cerro Blanco
6	La Laguna
7	Qda. Los Maranceles
8	Cerro Conito de los Infiele
9	Sierra Nevada
10	Salar de Aguilar
11	Qda. La Rossa
12	Wheelwrigth
13	Laguna Escondida
14	Laguna Verde
15	Qda. Las Amarillas
16	Cerro Agua Caliente
17	Cerro Nevado de Incahuasi
18	Salar de Piedra Parada
19	Cerro Agua de Morales
20	Lagunas del Jilguero
21	Laguna del Bayo
22	Qda. El llano
23	Salar Grande
24	Qda. la Trinchera
25	Laguna de las Parinas
26	Laguna de Colorados
27	Lagunas Bravas
28	Salar de Maricunga
29	Piedra Pómez
30	Salar de las Parinas
31	Salar de la Isla
32	Salar de Gorbea
33	Salar de la Azufrera
34	Salar de Agua Amarga

Dirección General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas
Gobierno de Chile

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	4 - 11	DICIEMBRE 2013	Proyectos Mineros con EIA

c) Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN)

Los estudios y proyectos efectuados por Ciren están en formato digital en la biblioteca digital de Cirén (http://bibliotecadigital.ciren.cl/ciren/info.html). Revisada toda la información de estudios que involucren la III Región, se tiene:

Ref. 24: Caracterización de Humedales Alto Andinos para una Gestión Sustentable de las Actividades Productivas del Sector Norte del País, III Región de Atacama, CIREN, Abril de 2013.

Ref. 25: Caracterización de Humedales Alto Andinos para una Gestión Sustentable de las Actividades Productivas del Sector Norte del País, Recursos Hídricos, Parte I, CIREN, Febrero 2013.

Ref. 26: Sistema de Información Territorial de Humedales Altoandinos, SITHA, CIREN (http://sitha.ciren.cl/).

d) Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)

Se concurrió al Centro Dirección de Obras Hidráulicas (CIDOH), investigando la existencia de estudios y proyectos relacionados con las temáticas del presente trabajo, y que abarquen áreas que se incluyan en la zona de interés. Así, el único trabajo útil para los objetivos del presente estudio es:

Ref. 27: Estudio de las Cuencas Cerradas de la Cordillera de Copiapó, Hans Niemeyer F., 1967 – 1968.

e) Comisión Nacional de Riego (CNR)

Los estudios y proyectos asociados a la CNR están en formato digital en la biblioteca digital de Cirén (http://bibliotecadigital.ciren.cl/ciren/info.html). Revisada toda la información de estudios que hayan sido encargados por la CNR, no existe ninguno que incluya el área de estudio.

f) Empresas de Servicios Sanitarios de la III Región. AGUAS CHAÑAR

Las áreas de concesión de la empresa de servicios sanitarios de la III Región (AGUAS CHAÑAR, http://www.aguaschañar.cl) son las siguientes:

- Diego de Almagro
- Inca de Oro
- El Salado
- Chañaral
- Caldera
- Copiapó
- Tierra Amarilla
- Vallenar
- Freirina
- Huasco

De acuerdo con lo anterior, no existen servicios de agua potable en las subcuencas de interés, de modo que en Aguas Chañar no habría información que pudiera ser de utilidad para el presente estudio.

g) Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)

Se consultó en Indap Atacama (Directora Regional Sra. María Angélica Osorio Urzúa y Jefa del Área en Copiapó Sra. Paola Torres González) por información que pudiese ser útil para el estudio (captaciones de agua para riego, demandas de agua, etc.), enfocado a las cuencas alto andinas (materia del presente trabajo), y la respuesta fue que las zonas que abarca los trabajos que Indap realiza no incluyen las áreas señaladas.

h) Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)

Se consultó al SAG Copiapó (Paola Salinas Matus, Jefa Oficina SAG Copiapó), por información que pudiese ser útil para el estudio (captaciones de agua para riego, demandas de agua, etc.), enfocado a las cuencas alto andinas (materia del presente trabajo), y la respuesta fue que las zonas que abarca los trabajos que el SAG realiza no incluyen las áreas señaladas.

En la página web del SAG es factible consultar un SIG (http://sigweb.sag.gob.cl/sag3/public.phtml), donde se puede consultar por información relacionada con ubicación de lagos, lagunas, ríos, curvas de nivel, poblados, etc. Dicha información se dispone en el SIG de la DGA que este Consultor dispone, de modo que no es información útil para el presente trabajo.

Ref. 28: Estudio de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos del Altiplano, Biota Gestión y Consultorías Ambientales Ltda., SAG, 2007.

i) Universidad de Atacama

Se consultó en el Dpto. de Geología de la Universidad de Atacama (UDA), Dr. Felipe Aguilera (área vulconalogía), Wolfgang Griem y a Paola Villalobos, encargada del departamento de geología en la UDA, señalando que ellos como universidad no han hecho ningún estudio en la zona de interés.

j) Instituto Geográfico Militar (IGM)

En aquellas zonas que fue necesario, se recopilaron las siguientes cartas IGM escala 1:50.000 (se nombran de Norte a Sur):

- Salar de Gorbea
- Cerro del Azufre
- Salar de la Isla
- Salar de Agua Amarga
- Pereda
- Salar de las Parinas
- Salar de Aguilar
- Quebrada de los Burros
- Nevado León Muerto
- Cerros del Agua Helada
- Cerro Doña Inés
- Lagunas Bravas
- Cerro Panteón de Aliste
- La Ola
- Pampa de los Amarillos
- Laguna de Eulogio o Wheelnright
- Río Juncalito
- Pastos Largos
- Paso de San Francisco
- Río Peñas Blancas
- Campo de Piedra Pómez
- Salar de Maricunga
- Cerro El Fraile
- Nevado Dios del Salado
- Macizo Tres Cruces
- Laguna Santa Rosa
- Portezuelos Valle Ancho
- Laguna del Negro Francisco
- Cerro Vidal Gormaz

k) Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH), DGA Nivel Central

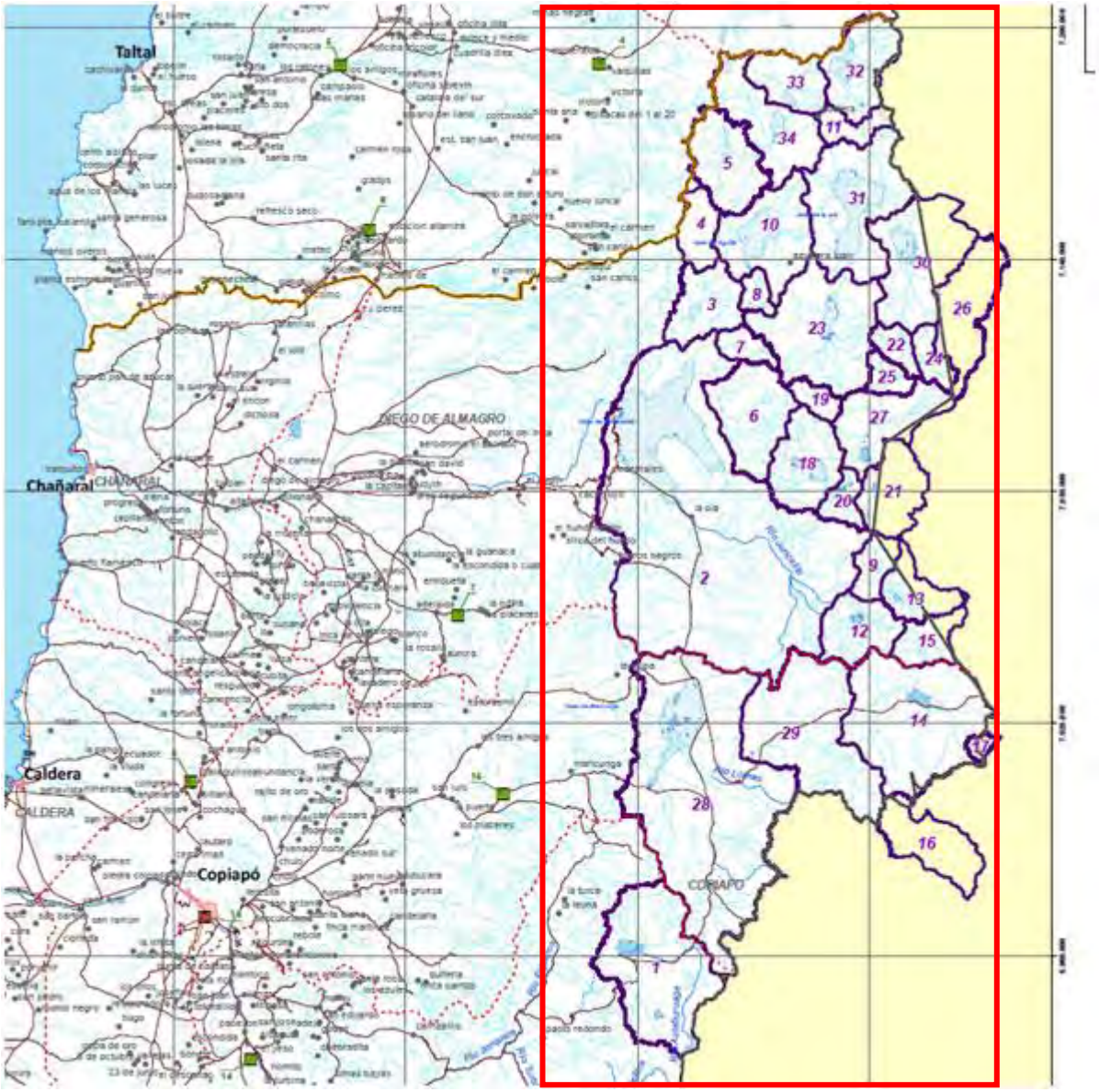
- **Derechos de Agua**

Se solicitó al CIRH de la DGA información de derechos de aguas subterráneas y superficiales constituidas y en trámite. El cuadrante UTM WGS 84 Huso 19 Sur sobre el cual se solicitaron los derechos fue el siguiente:

Norte 6.930.000	Este 460.000
Norte 6.930.000	Este 580.000
Norte 7.200.000	Este 460.000
Norte 7.200.000	Este 580.000

El cuadrante se muestra en la Figura 4-12 se muestra el cuadrante sobre el cual se pidieron los derechos de agua.

FIGURA 4-12
CUADRANTE SOLICITUD DERECHOS DE AGUA



Fuente: Elaboración propia; base de datos Aquaterra Ing. Ltda.

La información recibida se incluye en los siguientes cuadros.

CUADRO 4-8
DERECHOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CONSTITUIDAS

									Coor. UTM (WGS 84) *		Coor. UTM (Datum 1956) **	
Nº	Código de Expediente	Región	Provincia	Comuna	Nombre Solicitante	U. de Res./ CBR	Fecha Res.	Caudal (l/s)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)
1	ND-0301-458	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	01-12-1999	2,3	7.053.158	485.486	7.053.513	485.672
2	ND-0302-497	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	02-02-2001	100	7.023.584	520.886	7.023.938	521.073
3	ND-0302-486	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	02-02-2001	120	7.020.000	518.016	7.020.354	518.203
4	ND-0302-488	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	02-02-2001	100	7.021.729	520.810	7.022.083	520.997
5	ND-0302-490	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	02-02-2001	108	7.022.574	518.860	7.022.928	519.047
6	ND-0302-498	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	02-02-2001	130	7.026.386	531.372	7.026.740	531.559
7	ND-0302-493	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	02-02-2001	30	7.024.379	528.719	7.024.733	528.906
8	ND-0302-495	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	02-02-2001	43	7.024.678	532.133	7.025.032	532.320
9	ND-0302-494	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	02-02-2001	120	7.019.979	519.978	7.020.333	520.165
10	ND-0302-483	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	02-02-2001	120	7.020.974	517.570	7.021.328	517.757
11	ND-0301-832	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Minera Anglo American Chile Ltda.	Dirección General de Aguas	02-07-1986	50	7.057.834	492.120	7.058.189	492.306
12	ND-0301-832	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Minera Anglo American Chile Ltda.	Dirección General de Aguas	02-07-1986	50	7.057.732	492.233	7.058.087	492.419
13	ND-0301-510	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Cía. Minera Casale	C.B.R. Diego de Almagro	04-09-2006	36	7.088.193	505.528	7.088.549	505.715
14	ND-0301-504	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Cía. Minera Casale	C.B.R. Diego de Almagro	04-09-2006	110	7.090.973	505.951	7.091.329	506.138
15	ND-0301-508	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Cía. Minera Casale	C.B.R. Diego de Almagro	04-09-2006	30	7.094.662	503.813	7.095.018	504.000
16	ND-0301-505	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Cía. Minera Casale	C.B.R. Diego de Almagro	04-09-2006	121	7.089.706	506.099	7.090.062	506.286
17	ND-0301-507	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Cía. Minera Casale	C.B.R. Diego de Almagro	04-09-2006	120	7.086.498	505.632	7.086.854	505.819
18	ND-0301-511	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Cía. Minera Casale	C.B.R. Diego de Almagro	04-09-2006	88	7.082.954	505.092	7.083.309	505.279
19	ND-0301-506	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Cía. Minera Casale	C.B.R. Diego de Almagro	04-09-2006	5	7.078.567	504.366	7.078.922	504.553
20	M-III-125	Atacama	Huasco	Vallenar	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	06-03-1990	20	7.028.296	490.814	7.028.650	491.000
21	ND-III-216	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	07-12-1994	1	7.031.312	472.301	7.199.492	518.554
22	VPC-0302-21	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	DGA Copiapo	09-11-2000	6	7.028.025	464.255	7.199.755	519.933
23	ND-0301-174	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Codelco Salvador	Dirección General de Aguas	09-11-2000	120	7.084.371	481.603	7.031.666	472.487
24	ND-0301-202	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Codelco Salvador	Dirección General de Aguas	10-04-1992	10	7.069.747	467.582	7.028.379	464.440
25	ND-0302-487	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	11-02-2002	30	7.026.932	520.136	7.084.726	481.789
26	ND-0302-484	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	11-02-2002	20	7.030.845	520.276	7.070.102	467.768
27	ND-0302-556	Atacama	Copiapo	Copiapo	Andina Minerals Chile Ltda.	C.B.R. Copiapo	11-06-2008	170	6.985.577	500.129	7.027.286	520.323
28	ND-0302-556	Atacama	Copiapo	Copiapo	Andina Minerals Chile Ltda.	C.B.R. Copiapo	11-06-2008	170	6.985.282	500.134	7.031.199	520.463
29	ND-0301-767	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	LA ROSA S.A.	Dirección General de Aguas	11-12-2006	32,5	7.179.678	509.308	6.985.930	500.315
30	ND-0301-715	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	AMX DE CHILE S.A.	Dirección General de Aguas	11-12-2006	35	7.190.681	519.794	6.985.635	500.320
31	ND-0301-759	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	AMX DE CHILE S.A.	Dirección General de Aguas	11-12-2006	48	7.184.459	533.312	7.180.036	509.495
32	ND-0302-499	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	12-08-2008	1,02	7.020.955	514.553	7.191.039	519.981
33	ND-0302-485	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	15-04-2002	41,6	7.034.590	520.444	7.184.817	533.499
34	ND-0302-492	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	18-01-2001	95	7.017.980	517.955	7.021.309	514.740
35	ND-0302-496	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	18-01-2001	30	7.020.016	521.924	7.034.944	520.631
36	ND-0302-491	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	18-01-2001	47	7.027.259	522.240	7.018.334	518.142
37	ND-0302-489	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Casale	Dirección General de Aguas	18-01-2001	102	7.018.725	516.756	7.020.370	522.111
38	ND-0301-125	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	SQM S.A.	Dirección General de Aguas	19-03-2002	0,1	7.183.407	518.117	7.027.613	522.427
39	ND-0301-125	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	SQM S.A.	Dirección General de Aguas	19-03-2002	0,5	7.182.922	518.098	7.019.079	516.943
40	ND-III-89	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	21-08-1990	30	7.031.260	491.958	7.031.614	492.144
41	ND-III-89	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	21-08-1990	1	7.032.950	491.303	7.033.304	491.489
42	ND-III-89	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	21-08-1990	30	7.029.507	490.945	7.029.861	491.131
43	ND-III-89	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	21-08-1990	25	7.032.074	493.018	7.032.428	493.204
44	ND-0302-90	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	21-11-1989	10	7.029.130	462.808	7.028.380	464.440
45	ND-0302-193	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	23-11-1990	50	7.013.898	493.814	7.014.252	494.000
46	ND-0302-193	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	23-11-1990	50	7.016.044	494.965	7.016.398	495.151
47	ND-0302-194	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	23-11-1990	100	7.007.348	490.466	7.007.701	490.652
48	ND-0302-194	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	23-11-1990	100	7.007.697	491.265	7.008.050	491.451
49	ND-0302-194	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	23-11-1990	55	7.007.979	492.109	7.008.332	492.295
50	ND-III-60	Atacama	Copiapo	Copiapo	KG MINERA LM S.A.	C.B.R. Copiapo	24-03-2011	100	6.992.947	499.373	6.993.300	499.559
51	ND-III-60	Atacama	Copiapo	Copiapo	KG MINERA LM S.A.	C.B.R. Copiapo	24-03-2011	100	6.992.921	499.472	6.993.274	499.658
52	ND-0302-262	Atacama	Copiapo	Copiapo	Minera Bema Gold (Chile) Ltda.	Dirección General de Aguas	24-07-1992	105	6.963.923	495.517	6.964.275	495.703
53	ND-0302-265	Atacama	Copiapo	Copiapo	Minera Bema Gold (Chile) Ltda.	Dirección General de Aguas	24-07-1992	45	6.966.121	496.839	6.966.473	497.025
54	ND-III-249	Atacama	Copiapo	Copiapo	Minera Bema Gold (Chile) Ltda.	Dirección General de Aguas	24-07-1992	108	6.965.465	496.475	6.965.817	496.661
55	ND-0301-768	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	CERRO PUDIERA S.A.	Dirección General de Aguas	29-01-2007	27	7.181.739	535.946	7.182.097	536.133
56	ND-0301-760	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	AMX DE CHILE S.A.	Dirección General de Aguas	29-01-2007	125	7.185.874	519.465	7.186.232	519.652
57	ND-0301-762	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	AMX DE CHILE S.A.	Dirección General de Aguas	29-01-2007	80	7.184.970	519.303	7.185.328	519.490
58	ND-0301-769	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	AMX DE CHILE S.A.	Dirección General de Aguas	29-01-2007	50	7.184.562	533.998	7.184.920	534.185
59	ND-III-120	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía Minera Can Can S.A	C.B.R. Copiapo	30-12-1991	5	7.028.474	463.699	7.028.828	463.884
60	ND-0301-661	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Codelco Salvador	Dirección General de Aguas		90	7.084.709	480.478	7.084.709	480.478
61	ND-0302-208	Atacama	Copiapo	Copiapo	Chevron Minera Corporation of Chile			62	7.021.417	497.868	7.021.792	498.052
62	M-III-018	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Codelco Salvador	Dirección General de Aguas		85	7.084.415	482.374	7.084.790	482.559
63	M-III-018	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Codelco Salvador	Dirección General de Aguas		85	7.084.738	481.938	7.085.113	482.123
64	M-III-018	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Codelco Salvador	Dirección General de Aguas		80	7.085.183	482.243	7.085.558	482.427
65	M-III-018	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Codelco Salvador	Dirección General de Aguas		40	7.070.427	495.132	7.070.802	495.317
66	M-III-018	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Codelco Salvador	Dirección General de Aguas		60	7.068.618	494.848	7.068.993	495.032
67	M-III-018	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Codelco Salvador	Dirección General de Aguas		30	7.068.022	495.388	7.068.397	495.573
68	ND-301-680	Atacama			Codelco Salvador	Dirección General de Aguas	16-04-2013	64	7.084.994	480.344	7.085.369	480.528
69 ****	ND-301-680	Atacama			Codelco Salvador	Dirección General de Aguas	17-04-2013	20	7.084.358	479.583	7.084.733	479.767
							TOTAL (l/s)	4.275,02				

									Coor. UTM (WGS 84) *		Coor. (WGS 84) de Rest. *		Coor. UTM (Datum 1956) **		Coor. (Dat. 1956) de Rest. **	
70 ***	ND-0302-1315	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	31-12-2010	1,8	7.028.242	467.525	7.028.246	467.527	7.028.596	467.711	7.028.621	467.711
71 ***	ND-0302-1315	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	31-12-2010	1,6	7.028.377	467.730	7.028.196	467.614	7.028.731	467.916	7.028.571	467.798
72 ***	ND-0302-1315	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	31-12-2010	0,8	7.028.453	467.613	7.028.271	467.484	7.028.807	467.799	7.028.646	467.668
73 ***	ND-0302-1315	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	31-12-2010	0,3	7.028.358	467.759	7.028.183	467.636	7.028.712	467.945	7.028.558	467.820
74 ***	ND-0302-1315	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	31-12-2010	2,3	7.029.199	468.404	7.028.172	467.655	7.029.553	468.590	7.028.547	467.839
75 ***	ND-0302-1315	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	31-12-2010	1,1	7.028.641	467.839	7.028.233	467.549	7.028.995	468.025	7.028.608	467.733
76 ***	ND-0302-1315	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	31-12-2010	0,3	7.028.534	467.784	7.028.208	467.592	7.028.888	467.970	7.028.583	467.776
77 ***	ND-0302-1315	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía. Minera Mantos de Oro	Dirección General de Aguas	31-12-2010	1,7	7.028.404	467.688	7.028.581	467.571	7.028.758	467.874	7.028.956	467.755

*: Coordenadas transformadas a WGS 1984

**: Coordenadas originales enviadas por la DGA Nivel Central

***: Derechos de Aguas Subterráneas No Consuntivas

****: Supeditado a declaración de área de restricción Salar de Pedernales(Expdte. ND-0301-680)

Nota: los pozos 21, 22, 24, 44 y 59 se localizan fuera del área específica de estudio

Fuente: Elaboración Propia; CIRH, DGA, MOP

CUADRO 4-9
DERECHOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN TRÁMITE

						Fecha	Caudal	Coor. UTM (WGS 84) *		Coor. UTM (Datum 1956) **	
Nº	Expediente	Región	Provincia	Comuna	Nombre Solicitante	Ingreso DGA	(l/s)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)
1	ND-0301-1122	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	CERRO PUDIERA S.A.	29/11/10	80	7.173.014	531.911	7.173.372	532.098
2	ND-0301-1122	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	CERRO PUDIERA S.A.	29/11/10	9,5	7.172.815	533.128	7.173.173	533.315
3	VPC-0302-287	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía Minera Mantos de Oro	28/03/13	100	6.999.699	498.980	6.999.699	498.980
4	VPC-0302-288	Atacama	Copiapo	Copiapo	MINERA LOBO MARTE S.A.	28/03/13	100	6.999.699	498.980	6.999.699	498.980
5	VPC-0302-289	Atacama	Copiapo	Copiapo	Cía Minera Mantos de Oro	28/03/13	50	6.999.452	499.097	6.999.452	499.097
6	VPC-0302-290	Atacama	Copiapo	Copiapo	MINERA LOBO MARTE S.A.	28/03/13	50	6.999.452	499.097	6.999.452	499.097
7	ND-0302-555	Atacama	Copiapo	Copiapo	Inv. y Aseso. en Rec. Hídricos S.A.	26/05/00	40	6.985.137	500.209	6.985.490	500.395
8	ND-0302-1392	Atacama	Copiapo	Tierra Amarilla	Andina Minerals Chile Ltda.	25/02/10	1,35	6.961.424	495.941	6.961.776	496.127
9	ND-0302-1392	Atacama	Copiapo	Tierra Amarilla	Andina Minerals Chile Ltda.	25/02/10	15	6.955.795	496.171	6.956.147	496.357
10	ND-0302-1392	Atacama	Copiapo	Tierra Amarilla	Andina Minerals Chile Ltda.	25/02/10	21	6.957.561	496.558	6.957.913	496.744
11	ND-0302-1392	Atacama	Copiapo	Tierra Amarilla	Andina Minerals Chile Ltda.	25/02/10	1,02	6.954.959	495.550	6.955.311	495.736
12	ND-0302-1392	Atacama	Copiapo	Tierra Amarilla	Andina Minerals Chile Ltda.	25/02/10	0,6	6.956.846	496.671	6.957.198	496.857
13	ND-0302-545	Atacama	Copiapo	Copiapo	Inv. y Aseso. en Rec. Hídricos S.A.	25/02/00	120	6.985.137	500.209	6.985.490	500.395
14	ND-0301-1124	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	SOCIEDAD SALAR GRANDE S.A.	20/09/12	22	7.165.517	512.200	7.165.875	512.387
15	ND-0301-1124	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	SOCIEDAD SALAR GRANDE S.A.	20/09/12	5	7.167.192	503.669	7.167.550	503.855
16	ND-0301-747	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Codelco El Salvador	17/05/02	105	7.085.704	480.886	7.086.060	481.072
17	ND-0301-1114	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	CERRO PUDIERA S.A.	11/04/07	55	7.172.730	530.648	7.173.088	530.835
18	ND-0301-1114	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	CERRO PUDIERA S.A.	11/04/07	50	7.171.510	536.459	7.171.868	536.646
19	ND-0301-1114	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	CERRO PUDIERA S.A.	11/04/07	40	7.168.190	532.026	7.168.548	532.213
20	ND-0302-546	Atacama	Copiapo	Copiapo	Inv. y Aseso. en Rec. Hídricos S.A.	07/03/00	30	6.985.647	500.314	6.986.000	500.500
						TOTAL (l/s)	895,5				
	*: Coordenadas transformadas a WGS 1984										
	**: Coordenadas originales enviadas por la DGA Nivel Central										

Fuente: Elaboración Propia; CIRH, DGA, MOP

CUADRO 4-10
DERECHOS DE AGUAS SUPERFICIALES CONSTITUIDAS

									Coor. UTM (WGS 84) *		Coor. UTM (Datum 1956) **	
Nº	Expediente	Región	Provincia	Comuna	Nombre Solicitante	U. de Res./ Juz. /CBR	Fecha Res.	Q (l/s)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)
1	NR-0302-93	Atacama	Copiapó	Copiapó	Com. Ind. Colla Sinchy Wayra	4° Juzgado de Letras de Copiapó	01-12-2004	1	7.022.724	470.768	7.023.078	470.954
2	UA-0302-81176	Atacama	Copiapó	Tierra Amarilla	Minera Meridian Ltda.	C.B.R. Copiapó	05-09-2007	15	6.988.647	468.714	6.989.000	468.900
3	UA-0302-81177	Atacama	Copiapó	Tierra Amarilla	Minera Meridian Ltda.	C.B.R. Copiapó	05-09-2007	7	6.981.447	464.815	6.981.800	465.000
4	UA-0302-81177	Atacama	Copiapó	Tierra Amarilla	Minera Meridian Ltda.	C.B.R. Copiapó	05-09-2007	7	6.984.447	473.014	6.984.800	473.200
5	ND-0301-735	Atacama	Chañaral	Diego de Almag	AMX DE CHILE S.A.	Dirección General de Aguas	06-08-2009	2,8	7.180.572	536.611	7.180.930	536.798
6	ND-0302-427	Atacama	Copiapó	Copiapó	Alejandro Moreno Prohens y Otros	Dirección General de Aguas	08-06-1999	270	7.028.646	547.712	7.029.000	547.900
7	ND-0301-112	Atacama	Chañaral	Diego de Almag	SQM S.A.	Dirección General de Aguas	08-06-1999	0,44	7.174.242	514.813	7.174.600	515.000
8	ND-0301-112	Atacama	Chañaral	Diego de Almag	SQM S.A.	Dirección General de Aguas	08-06-1999	0,88	7.176.492	515.313	7.176.850	515.500
9	ND-0301-320	Atacama	Chañaral	Diego de Almag	Codelco El Salvador	Dirección General de Aguas	10-08-1999	3	7.137.453	480.931	7.137.810	481.117
10	ND-0302-106	Atacama	Copiapó	Copiapó	Alejandro Moreno Prohens y Otros	Dirección General de Aguas	12-01-1990	30	7.024.346	555.312	7.024.700	555.500
11	NR-0302-70	Atacama	Copiapó	Tierra Amarilla	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó	1° J. de L. Copiapó	12-03-2003	0,16	6.999.209	467.942	6.999.562	468.128
12	NR-0302-70	Atacama	Copiapó	Tierra Amarilla	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó	1° J. de L. Copiapó	12-03-2003	0,7	7.006.407	472.760	7.006.760	472.946
13	NR-0302-70	Atacama	Copiapó	Tierra Amarilla	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó	1° J. de L. Copiapó	12-03-2003	0,7	7.006.529	472.820	7.006.882	473.006
14	NR-0302-70	Atacama	Copiapó	Tierra Amarilla	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó	1° J. de L. Copiapó	12-03-2003	0,1	6.997.625	461.846	6.997.978	462.031
15	NR-0302-70	Atacama	Copiapó	Tierra Amarilla	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó	1° J. de L. Copiapó	12-03-2003	0,8	7.008.810	472.626	7.009.163	472.812
16	ND-0302-1385	Atacama	Copiapó	Copiapó	Cía. Nacional de Minería Ltda.	Dirección General de Aguas	29-01-1988	2	7.032.646	474.414	7.033.000	474.600
17	ND-0302-1385	Atacama	Copiapó	Copiapó	Cía. Nacional de Minería Ltda.	Dirección General de Aguas	29-01-1988	7	7.033.046	482.914	7.033.400	483.100
18	VT-0302-30	Atacama	Copiapó	Copiapó	Cía. Mienra Tres Cruces SCTM	Dirección General de Aguas	29-05-1990	45	6.990.935	496.102	6.991.288	496.288
19	NR-0302-53	Atacama	Copiapó	Copiapó	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó	1° J. de L. Copiapó	29-11-2007	3,2	7.026.146	460.815	7.026.500	461.000
20	NR-0302-53	Atacama	Copiapó	Copiapó	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó	1° J. de L. Copiapó	29-11-2007	0,7	7.026.796	462.715	7.027.150	462.900
	*: Coordenadas transformadas a WGS 1984						Total (l/s)	397,48				
	**: Coordenadas originales enviadas por la DGA Nivel Central											

Fuente: Elaboración Propia; CIRH, DGA, MOP

CUADRO 4-11
DERECHOS DE AGUAS SUPERFICIALES EN TRÁMITE

						Fecha	Q	Coor. UTM (WGS 84) *		Coor. UTM (Datum 1956) **	
Nº	Expediente	Región	Provincia	Comuna	Nombre Solicitante	Ingreso DGA	l/s	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)
1	ND-0302-802	Atacama	Copiapo	Copiapo	Inversiones Río Peñas Blancas S.A.	21/06/04	400	7.028.671	547.812	7.029.025	548.000
2	ND-0302-805	Atacama	Copiapo	Copiapo	Inversiones Río Peñas Blancas S.A.	20/07/04	400	7.028.671	547.812	7.029.025	548.000
3	NR-0301-94	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Com. Ind. Colla, Diego	20/02/12	64,1	7.067.300	517.785	7.067.655	517.972
4	NR-0301-93	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Com. Ind. Colla, Diego de Almagro	20/02/12	0,25	7.067.653	517.958	Infor. Original en WGS 84	
5	ND-0301-808	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Com. Ind. Colla Geoxcultuxial	04/08/04	0,5	7.056.516	498.623	7.056.871	498.809
6	ND-0301-808	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Com. Ind. Colla Geoxcultuxial	04/08/04	0,5	7.066.964	486.786	7.067.319	486.972
7	ND-0301-808	Atacama	Chañaral	Diego de Almagro	Com. Ind. Colla Geoxcultuxial	04/08/04	0,5	7.066.883	486.772	7.067.238	486.958
	*: Coordenadas transformadas a WGS 1984					**Total (l/s)**	**865,9**				
	**: Coordenadas originales enviadas por la DGA Nivel Central										

Fuente: Elaboración Propia; CIRH, DGA, MOP

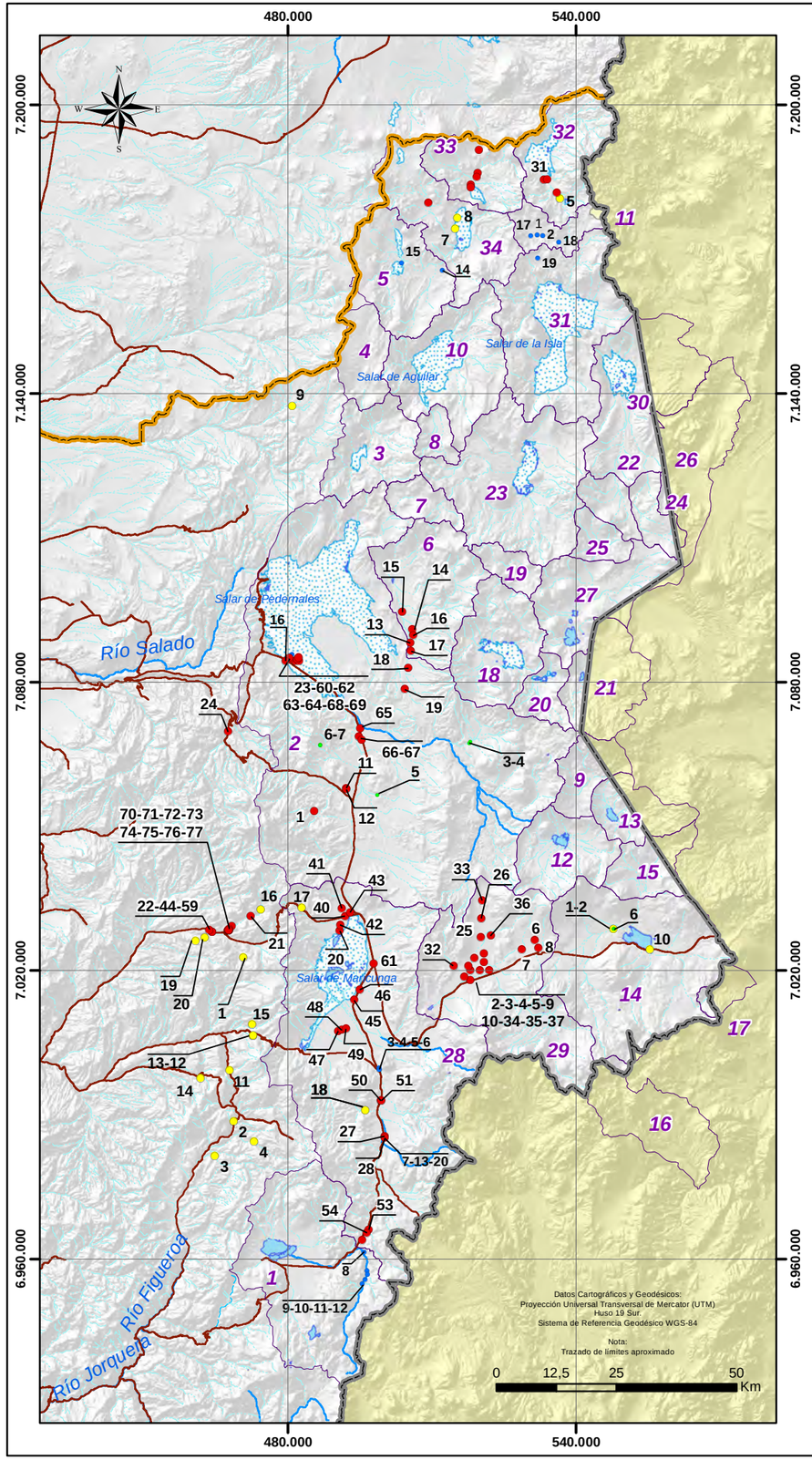
Es importante destacar que de los derechos consignados en los cuadros anteriores, hay algunos que no están incluidos dentro de las cuencas de estudio, a saber:

- Derechos de Aguas Subterráneas Constituidos: 13 derechos fuera del área
- Derechos de Aguas Superficiales Constituidos: 13 derechos fuera del área

Para efectos de conocer las características de las captaciones subterráneas (planos de construcción, pruebas de bombeo, estudios hidrogeológicos asociados, interpretaciones de las pruebas de bombeo, etc.) que tienen sus derechos de aguas subterráneas constituidas, se concurrió al CIRH de la DGA para conseguirse los expedientes de cada una de las captaciones que tienen sus derechos de aguas constituidas.

En la Figura 4-13 se muestra la ubicación de los derechos de aguas subterráneas constituidas y en trámite y los derechos de aguas superficiales constituidos y en trámite.

En el Documento de Trabajo DOC-2 se incluyen los expedientes de derechos de aguas subterráneas recopilados.



Simbología

Derechos de Aguas
(Situación a marzo 2013)

- Derechos de Aguas Subterráneas Constituidos
- Derechos de Aguas Superficiales Constituidos
- Derechos de Aguas Subterráneos En Trámite
- Derechos de Aguas Superficiales En Trámite
- 20 Identificador Derechos

Hidrografía

- Rio
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- SubCuencas Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

- Límite Regional
- Límite Internacional

ID	NOMBRE CUENCA
1	Laguna del Negro Francisco
2	Salar de Pedernales
3	Salar de Infieles
4	Cerro el Encanche
5	Cerro Blanco
6	La Laguna
7	Qda. Los Maranceles
8	Cerro Conito de los Infiele
9	Sierra Nevada
10	Salar de Aguilar
11	Qda. La Rossa
12	Wheelwrigth
13	Laguna Escondida
14	Laguna Verde
15	Qda. Las Amarillas
16	Cerro Agua Caliente
17	Cerro Nevado de Incahuasi
18	Salar de Piedra Parada
19	Cerro Agua de Morales
20	Lagunas del Jilguero
21	Laguna del Bayo
22	Qda. El Llano
23	Salar Grande
24	Qda. la Trinchera
25	Laguna de las Parinas
26	Laguna de Colorados
27	Lagunas Bravas
28	Salar de Maricunga
29	Qda. Nevados del Jucalitos
30	Salar de las Parinas
31	Salar de la Isla
32	Salar de Gorbea
33	Salar de la Azufrera
34	Salar de Agua Amarga

Derechos de Aguas Subterráneas Constituidos

ID	Expediente	Solicitante	Plano de Construcción
1	ND-0301-458	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
2	ND-0302-497	Cía. Minera Casale	Sí
3	ND-0302-486	Cía. Minera Casale	Sí
4	ND-0302-488	Cía. Minera Casale	Sí
5	ND-0302-490	Cía. Minera Casale	Sí
6	ND-0302-498	Cía. Minera Casale	Sí
7	ND-0302-493	Cía. Minera Casale	Sí
8	ND-0302-495	Cía. Minera Casale	Sí
9	ND-0302-494	Cía. Minera Casale	Sí
10	ND-0302-483	Cía. Minera Casale	Sí
11	ND-0301-832	Minera Anglo American Chile Ltda.	Sí
12	ND-0301-832	Minera Anglo American Chile Ltda.	Sí
13	ND-0301-510	Cía. Minera Casale	Sí
14	ND-0301-504	Cía. Minera Casale	Sí
15	ND-0301-508	Cía. Minera Casale	Sí
16	ND-0301-505	Cía. Minera Casale	Sí
17	ND-0301-507	Cía. Minera Casale	Sí
18	ND-0301-511	Cía. Minera Casale	Sí
19	ND-0301-506	Cía. Minera Casale	Sí
20	M-III-125	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
21	ND-III-216	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
22	VPC-0302-21	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
23	ND-0301-174	Codelco Salvador	Sí
24	ND-0301-202	Codelco Salvador	Sí
25	ND-0302-487	Cía. Minera Casale	Sí
26	ND-0302-484	Cía. Minera Casale	Sí
27	ND-0302-556	Andina Minerals Chile Ltda.	Sí
28	ND-0302-556	Andina Minerals Chile Ltda.	Sí
29	ND-0301-767	LA ROSA S.A.	Sí
30	ND-0301-715	AMX DE CHILE S.A.	Sí
31	ND-0301-759	AMX DE CHILE S.A.	Sí
32	ND-0302-499	Cía. Minera Casale	No
33	ND-0302-485	Cía. Minera Casale	No
34	ND-0302-492	Cía. Minera Casale	Sí
35	ND-0302-496	Cía. Minera Casale	Sí
36	ND-0302-491	Cía. Minera Casale	Sí
37	ND-0302-489	Cía. Minera Casale	Sí
38	ND-0301-125	SQM S.A.	Sí
39	ND-0301-125	SQM S.A.	Sí
40	ND-III-89	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
41	ND-III-89	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
42	ND-III-89	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
43	ND-III-89	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
44	ND-0302-90	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
45	ND-0302-193	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
46	ND-0302-193	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
47	ND-0302-194	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
48	ND-0302-194	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
49	ND-0302-194	Cía. Minera Mantos de Oro	Sí
50	ND-III-60	KG MINERA LM S.A.	Sí
51	ND-III-60	KG MINERA LM S.A.	Sí
52	ND-0302-262	Minera Bema Gold (Chile) Ltda.	Sí
53	ND-0302-265	Minera Bema Gold (Chile) Ltda.	Sí
54	ND-III-249	Minera Bema Gold (Chile) Ltda.	No
55	ND-0301-768	CERRO PUDIERA S.A.	Sí
56	ND-0301-760	AMX DE CHILE S.A.	Sí
57	ND-0301-762	AMX DE CHILE S.A.	Sí
58	ND-0301-769	AMX DE CHILE S.A.	Sí
59	ND-III-120	Cía Minera Can Can S.A	No
60	ND-0301-661	CODELCO, DIVISION SALVADOR	Sí
61	ND-0302-208	CHEVRON MINERA CORPORATION OF CHILE	Sí
62	ND-301-830	CODELCO, DIVISION SALVADOR	Sí
63	ND-301-830	CODELCO, DIVISION SALVADOR	Sí
64	ND-301-830	CODELCO, DIVISION SALVADOR	Sí
65	ND-301-830	CODELCO, DIVISION SALVADOR	Sí
66	ND-301-830	CODELCO, DIVISION SALVADOR	Sí
67	ND-301-830	CODELCO, DIVISION SALVADOR	Sí
68	ND-301-680	CODELCO, DIVISION SALVADOR	Sí
69**	ND-301-680	CODELCO, DIVISION SALVADOR	No
70 ***	ND-0302-1315	Cía. Minera Mantos de Oro	-
71 ***	ND-0302-1315	Cía. Minera Mantos de Oro	-
72 ***	ND-0302-1315	Cía. Minera Mantos de Oro	-
73 ***	ND-0302-1315	Cía. Minera Mantos de Oro	-
74 ***	ND-0302-1315	Cía. Minera Mantos de Oro	-
75 ***	ND-0302-1315	Cía. Minera Mantos de Oro	-
76 ***	ND-0302-1315	Cía. Minera Mantos de Oro	-
77 ***	ND-0302-1315	Cía. Minera Mantos de Oro	-

***: Derechos de Agua Subterránea de Uso No Consuntivo

** : Supeditado a declaración de área de restricción Salar de Pedernales(Expdte. ND-0301-680)

Derechos de Aguas Subterráneas en Trámite

ID	Expediente	Solicitante	Fecha Ingreso DGA
1	ND-0301-1122	CERRO PUDIERA S.A.	29/11/10
2	ND-0301-1122	CERRO PUDIERA S.A.	29/11/10
3	VPC-0302-287	Cía Minera Mantos de Oro	28/03/13
4	VPC-0302-288	MINERA LOBO MARTE S.A.	28/03/13
5	VPC-0302-289	Cía Minera Mantos de Oro	28/03/13
6	VPC-0302-290	MINERA LOBO MARTE S.A.	28/03/13
7	ND-0302-555	Inv. y Aseso. en Rec. Hídricos S.A.	26/05/00
8	ND-0302-1392	Andina Minerals Chile Ltda.	25/02/10
9	ND-0302-1392	Andina Minerals Chile Ltda.	25/02/10
10	ND-0302-1392	Andina Minerals Chile Ltda.	25/02/10
11	ND-0302-1392	Andina Minerals Chile Ltda.	25/02/10
12	ND-0302-1392	Andina Minerals Chile Ltda.	25/02/10
13	ND-0302-545	Inv. y Aseso. en Rec. Hídricos S.A.	25/02/00
14	ND-0301-1124	SOCIEDAD SALAR GRANDE S.A.	20/09/12
15	ND-0301-1124	SOCIEDAD SALAR GRANDE S.A.	20/09/12
16	ND-0301-747	Codelco El Salvador	17/05/02
17	ND-0301-1114	CERRO PUDIERA S.A.	11/04/07
18	ND-0301-1114	CERRO PUDIERA S.A.	11/04/07
19	ND-0301-1114	CERRO PUDIERA S.A.	11/04/07
20	ND-0302-546	Inv. y Aseso. en Rec. Hídricos S.A.	07/03/00

Derechos de Aguas Superficiales Constituidos

ID	Expediente	Solicitante
1	NR-0302-93	Com. Ind. Colla Sinchy Wayra
2	UA-0302-81176	Minera Meridian Ltda.
3	UA-0302-81177	Minera Meridian Ltda.
4	UA-0302-81177	Minera Meridian Ltda.
5	ND-0301-735	AMX DE CHILE S.A.
6	ND-0302-427	Alejandro Moreno Prohens y Otros
7	ND-0301-112	SQM S.A.
8	ND-0301-112	SQM S.A.
9	ND-0301-320	Codelco El Salvador
10	ND-0302-106	Alejandro Moreno Prohens y Otros
11	NR-0302-70	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó
12	NR-0302-70	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó
13	NR-0302-70	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó
14	NR-0302-70	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó
15	NR-0302-70	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó
16	ND-0302-1385	Cía. Nacional de Minería Ltda.
17	ND-0302-1385	Cía. Nacional de Minería Ltda.
18	VT-0302-30	Cía. Mienra Tres Cruces SCTM
19	NR-0302-53	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó
20	NR-0302-53	Com. Ind. Colla, comuna de Copiapó

Derechos de Aguas Superficiales En Trámite

ID	Expediente	Solicitante	Fecha Ingreso DGA
1	ND-0302-802	Inversiones Rio Peñas Blancas S.A.	21/06/04
2	ND-0302-805	Inversiones Rio Peñas Blancas S.A.	20/07/04
3	NR-0301-94	Com. Ind. Colla, Diego	20/02/12
4	NR-0301-93	Com. Ind. Colla, Diego de Almagro	20/02/12
5	ND-0301-808	Com. Ind. Colla Geoxcultuxial	04/08/04
6	ND-0301-808	Com. Ind. Colla Geoxcultuxial	04/08/04
7	ND-0301-808	Com. Ind. Colla Geoxcultuxial	04/08/04

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR: AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO: DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	4 - 13	DICIEMBRE 2013	Ubicación de Derechos de Aguas Subterráneas y Aguas Superficiales Constituidos y en Trámite

- **Pluviometría**

Se recopiló información de precipitaciones medias mensuales y anuales de las siguientes estaciones vigentes:

CUADRO 4-12
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DE INTERÉS

ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA		COORDENADAS **	
			DESDE	HASTA	NORTE	ESTE
1	02942001-7	AGUAS VERDES	SEP 1987	DIC 2012	7.190.215	403.193
2	03210001-5	LAS VEGAS	ENE 1984	DIC 2012	7.047.991	433.472
3	03340001-2	CALDERA	MAR 1992	DIC 2012	7.004.972	364.277
4	03404002-8	JORQUERA EN LA GUARDIA	OCT 1966	DIC 2012	6.920.561	425.944
5	03414002-2	IGLESIA COLORADA	JUN 1988	NOV 2012	6.883.559	414.717
6	03421004-7	MANFLAS HACIENDA	JUL 1966	DIC 2012	6.887.164	403.233
7	03430006-2	LAUTARO EMB.	MAY 1930	NOV 2012	6.905.614	401.445
8	03430007-0	LOS LOROS	SEP 1967	NOV 2012	6.920.302	391.475
9	03431004-1	ELIBOR CAMPAMENTO	ENE 1978	DIC 2012	6.933.118	379.857
10	03441001-1	PASTOS GRANDES	AGO 1966	DIC 2012	7.001.896	445.281
11	03450004-5	COPIAPÓ	ENE 1971	DIC 2012	6.969.927	367.957
12	DMC	EL SALVADOR	ABR 1963	DIC 2008	7.088.685	438.264
13*	PUC-DGA	PAJONALES	OCT 2007	OCT 2008	7.216.894	512.071
14*	PUC-DGA	MARICUNGA	OCT 2007	OCT 2008	7.000.019	486.140
15*	PUC-DGA	PEDERNALES NORTE	OCT 2007	OCT 2008	7.108.471	488.120
16*	PUC-DGA	PEDERNALES SUR	OCT 2007	OCT 2008	7.048.661	492.870
17*	PUC-DGA	AGUA AMARGA	OCT 2007	OCT 2008	7.178.629	515.637
18	03802005-6	CONAY	ABR 1965	MAY 2010	6.794.690	387.750
19	03802004-8	LOS TAMBOS	ABR 1961	DIC 1992	6.792.795	382.896
20	03804006-5	EL CORRAL	ABR 1995	MAY 2010	6.779.574	357.076

* Instaladas en Octubre del 2007 por convenio PUC-DGA

** Datum WGS 84

Fuente: Elaboración Propia; CIRH, DGA, MOP

Las estaciones 13 a 17 (PUC – DGA) no fueron utilizadas en los análisis debido a que sólo cuenta con 1 año de información.

Los datos de las estadísticas observadas se incluyen en el Anexo 4-1.

- **Fluviometría**

Se recopiló información de caudales medios mensuales y anuales de las siguientes estaciones vigentes:

CUADRO 4-13
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS DE INTERÉS

ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA		COORDENADAS *	
			DESDE	HASTA	NORTE	ESTE
1	03022001-3	RÍO LA OLA EN VERTEDERO	JUN 1986	ABR 2012	7.070.682	494.018
2	03041001-7	RÍO BARROS NEGROS ANTES JUNTA VALLE ANCHO	ABR 1979	ABR 2012	6.983.923	500.041
3	03041002-5	RÍO VILLALOBOS EN VERTEDERO	JUN 1979	ABR 2012	6.990.754	497.317
4	03041003-3	RÍO VALLE ANCHO ANTES JUNTA BARROS NEGROS	ABR 1979	ABR 2012	6.983.687	499.435
5	03041004-1	RÍO VALLE ANCHO EN LA BARRERA	ABR 1979	ABR 2012	6.998.452	499.709
6	03041005-K	RÍO LAMAS EN EL SALTO	FEB 1980	ABR 2012	7.004.322	506.693
7	03050001-6	RIO ASTABURUAGA EN CONO	DIC 1979	ABR 2012	6.962.262	495.319
8	03404001-K	RIO JORQUERA EN VERTEDERO	ABR 1964	FEB 2012	6.897.284	405.766
9	03414001-4	RIO PULIDO EN VERTEDERO	FEB 1963	FEB 2012	6.892.589	407.374
10	03421001-2	RIO MANFLAS EN VERTEDERO	FEB 1963	FEB 2012	6.885.669	402.175
11	03802001-3	RIO CONAY EN LAS LOZAS	OCT 1984	ABR 2010	6.797.102	392.481
12	03804002-2	RIO TRANSITO EN ANGOSTURA PINTE	DIC 1964	ABR 2010	6.797.486	378.157
13	03814003-5	RIO CARMEN EN EL CORRAL	OCT 1991	ABR 2010	6.778.683	362.217
*	DATUM WGS 84					

Fuente: Elaboración Propia; CIRH, DGA, MOP

Los datos de las estadísticas observadas se incluyen en el Anexo 4-1.

- **Evaporación**

Se recopiló información de evaporaciones mensuales de las siguientes estaciones vigentes:

CUADRO 4-14
ESTACIONES EVAPORIMÉTRICAS DE INTERÉS

IDENTIFICACIÓN ESTACIONES EVAPORIMÉTRICAS						
ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA		COORDENADAS *	
			DESDE	HASTA	Norte	Este
1	03414002-2	IGLESIA COLORADA	MAR 1993	ABR 2012	6.883.559	414.717
2	03430006-2	LAUTARO EMB.	FEB 1969	ABR 2012	6.905.614	401.445
3	03430007-0	LOS LOROS	JUN 1963	ABR 2012	6.920.302	391.475
4	03450004-5	COPIAPÓ	ABR 1984	MAR 2000	6.969.927	367.957
	*	Datum WGS 84				

Fuente: Elaboración Propia; CIRH, DGA, MOP

Los datos de las estadísticas observadas se incluyen en el Anexo 4-1.

- **Temperatura**

Se recopiló información de temperaturas medias mensuales de las siguientes estaciones vigentes:

CUADRO 4-15
ESTACIONES DE TEMPERATURA DE INTERÉS

IDENTIFICACIÓN ESTACIONES DE TEMPERATURA						
ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA		COORDENADAS *	
			DESDE	HASTA	Norte	Este
1	03414002-2	IGLESIA COLORADA	FEB 1993	ABR 2012	6.883.559	414.717
2	03430006-2	LAUTARO EMB.	JUN 1969	ABR 2012	6.905.614	401.445
3	03430007-0	LOS LOROS	JUL 1988	ABR 2012	6.920.302	391.475
4	03450004-5	COPIAPÓ	ABR 1984	MAR 2000	6.969.927	367.957

Fuente: Elaboración propia; CIRH, DGA, MOP

Los datos de las estadísticas observadas se incluyen en el Anexo 4-1.

- **Calidad de Aguas**

Se recopiló información de calidad de agua en las siguientes estaciones vigentes:

CUADRO 4-16
ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUAS DE INTERÉS

IDENTIFICACIÓN ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUAS						
ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA		COORDENADAS *	
			DESDE	HASTA	Norte	Este
1	03022001-3	RÍO LA OLA EN VERTEDERO	1990	2013	7.070.391	493.999
2	03041001-7	RÍO BARROS NEGROS ANTES JUNTA VALLE ANCHO	1979	1980	6.976.248	496.516
3	03041003-3	RÍO VALLE ANCHO ANTES JUNTA BARROS NEGROS	1979	2013	6.994.709	496.511
4	03041006-8	RÍO VILLALOBOS ANTES RIO BARROS NEGROS	1979	1979	6.991.017	498.163
5	03041007-6	RÍO VILLALOBOS ANTES RIO VALLE ANCHO	1967	1968	6.991.017	498.163
6	03041008-4	LAGUNA SANTA ROSA (CA)	1967	1967	7.003.929	483.289
7	03041011-4	POZO COMPAÑIA TRES CRUCES	1999	2011	6.992.925	499.456
8	03050001-6	RÍO ASTABURUAGA EN CONO	1979	1979	6.957.785	491.582
	*	Datum WGS 84				

Fuente: Elaboración propia; CIRH, DGA, MOP

Los datos de las estadísticas observadas de calidad de aguas se incluyen en el Anexo 4-1.

La ubicación de cada una de las estaciones se puede consultar en el Plano 4-1.

Adicionalmente, se recopiló información de calidad de aguas de estudios anteriores y de expedientes de derechos de aguas; dicha información se incluye en el Documento de Trabajo DOC-3. A su vez, en el Plano 4-2 se incluye la ubicación de los puntos de muestreo de calidad de aguas de estudios anteriores.

l) Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomín)

Los estudios consultados y adquiridos en el Sernageomín fueron los siguientes:

Ref. 29: Metodologías y Resultados Preliminares Proyecto Hidrogeológico de las Cuencas Hidrográficas del Altiplano de la Región de Atacama, Iriarte D., Sergio; Aguirre A., Igor; Santibáñez I; Venegas M., Congreso Geológico Julio-Agosto 2000.

Ref. 30: Aplicación de una Metodología Hidroquímica para el Análisis de los Aportes y Descarga de los Acuíferos en la Cuenca de Ciénaga Redonda, Altiplano de Copiapó. Venegas S., Marcela; Iriarte D., Sergio, Congreso Geológico Julio-Agosto 2000.

Ref. 31: Interpretación Hidrogeológica de la Génesis de Salares y Lagunas del Altiplano Chileno. Montti, Silvia; Henríquez, Hugo, Segundo Congreso Geológico Chileno, 1979.

Ref. 32: Hidrogeología de la cuenca Laguna del Negro Francisco, Escala 1:100.000, Región de Atacama. N° Mapa: M63.- Autor: Iriarte D., Sergio; Ugalde A., Ignacio; Venegas S., Marcela. SERNAGEOMIN, 1998.

Ref. 33: Mapa hidrogeológico de la Cuenca Salar de Maricunga: sector Ciénaga Redonda, escala 1:100.000, Región de Atacama. N° Mapa: M65. Venegas, M.; Iriarte, S. y Aguirre, I. SERNAGEOMIN, 2000.

Ref.34: Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Campo de Piedra Pómez-Laguna Verde. Región de Atacama, Escala 1:100.000. N° Mapa: M66.- Autor: Santibáñez I., Venegas M. Formato JPG. SERNAGEOMIN, 2005.

Ref. 35: Estudio de Modelación Matemática Hidrogeológica Cuenca del Salar de Pedernales. CPH Consultores Ltda., 2004.

Ref. 36: Hidrogeología Sector Quebrada Piedra Pómez. EDRA, 1999.

m) Dirección General de Aguas Región de Atacama

La información que proporcionó la DGA Regional fue el listado de derechos de aguas subterráneas afectas al pago de patentes (proceso año 2013).

n) Empresas del Sector Minero de la III Región

De acuerdo con la información que se incluye en el catastro de pozos de derechos de aguas subterráneas y superficiales, constituidos y en trámite, relacionado con las compañías mineras que operan en la zona, se hicieron consultas en las que a continuación se señalan:

- **Kinross:** Cía. Minera Mantos de Oro (operativa), Cía. Minera Casale (no operativa), KG Minera LM S.A. (no operativa), Minera Bema Gold Chile (Cía. Minera Maricunga), Minera Lobo Marte (no operativo)

- **Codelco Salvador**

- **Hoschild Mining PLC (antes Andina Minerals Chile Ltda.)**

De las empresas contactadas, sólo Hoschild Mining PLC entregó información; del resto no se tuvo respuesta.

Las empresas mineras que no fue posible contactar, y que tienen captaciones de agua en la zona de interés fueron las siguientes:

- Minera Anglo American Chile Ltda.
- AMX de Chile S.A.
- SQM S.A.
- Cerro Pudiera S.A.

En el siguiente cuadro se señalan las mineras (las que se localizan en el área de estudio) que están y que no están operativas.

CUADRO 4-17
SITUACIÓN ACTUAL DE MINERAS
EN ÁREA DE INTERÉS

Cía. Minera Mantos de Oro	OPERATIVA
Cía. Minera Casale	NO OPERATIVA
Minera Anglo American Chile Ltda.	NO OPERATIVA
Codelco División Salvador	OPERATIVA
Andina Minerals Chile	NO OPERATIVA
Minera Lobo Marte	NO OPERATIVA
AMX de Chile S.A.	NO OPERATIVA
SQM S.A.	NO OPERATIVA
KG Minera LM S.A.	NO OPERATIVA
Minera Maricunga (Proyecto Refugio)	OPERATIVA
Cero Pudiera S.A.	NO OPERATIVA
Cía. Minera Can Can S.A.	OPERATIVA
Chevron Minera Corporation of Chile	SIN INFORMACIÓN

Fuente: Elaboración Propia; Aquaterra Ing. Ltda.

o) Cochilco (Comisión Chilena del Cobre)

A través de la página web (http://www.cochilco.cl/estudios/tema-sust-agua.asp), es factible obtener, en forma general e indirecta, los consumos globales de agua en la minería del cobre para diferentes años.

En el Cuadro 4-18 se incluye un resumen de todos los estudios y antecedentes que fueron recopilados y revisados.

CUADRO 4-18
ANTECEDENTES RECOPILADOS

Ref. 1: Estudio Evaluación de Los Recursos Hídricos Subterráneos en Cuencas de la Región de Atacama Ubicadas entre el Río Copiapó y La Región de Antofagasta SDT 276 (Año 2009-DARH).
Ref. 2: Estudio Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, regiones XV, I, II y III; SIT Nº 157 (parte 1) y SIT Nº 195 (parte 2)- DICTUC 2009.
Ref. 3: Estudio Metodología para la Estimación de Recarga de Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica en el Norte de Chile XV, I, II, y III Regiones.; SIT Nº 221 – GCF Ingenieros Limitada 2010.
Ref. 4: Propuesta Metodológica para Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas y de Vertiente Pacífico; Documento de Trabajo, Marzo 2010, Luis Rojas Badilla y Carlos Salazar M., DGA.
Ref. 5: Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica, SIT Nº 251, Aquaterra Ingenieros Ltda., Septiembre de 2011.
Ref. 6: Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas, Región de Atacama; SDT Nº 334, Diciembre de 2012

Ref. 7: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar, Convenio de Cooperación DGA – UCN – IRD, 1999.
Ref. 8: Informe Preliminar Sobre la Factibilidad Técnica Ecológica de Extraer Aguas de la Laguna del Negro Francisco, III Región, DGA, Rolf Behncke C., Febrero 1987.
Ref. 9: Nuevos Recursos de Agua Industrial Llano de Pedernales, Proyecto Obras Sondajes Llano de Pedernales, 1982.
Ref. 10: Análisis de la Situación Hidrológica e Hidrogeológica de la Cuenca del Salar de Maricunga, III Región. DGA, Departamento de Estudios y Planificación (2006). S.D.T. Nº 255.
Ref. 11: Balance Hidrológico Nacional, Regiones III y IV, IPLA, DGA, 1984.
Ref. 12: Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras. Zona I Norte, Regiones I a IV, SIT Nº 122, AC Ingenieros, DGA, 2007.
Ref. 13: Derechos, Extracciones y Tasas Unitarias de Consumo de Agua del Sector Minero Regiones Centro – Norte de Chile. Proust Consultores, DGA, SIT Nº 146, Marzo 2008.
Ref. 14: Reapertura Operación Agua de la Falda, Proyecto Jerónimo. Estudio de Impacto Ambiental. Algoritmos, 2011.
Ref. 15: Proyecto Minero Volcán. Estudio de Impacto Ambiental, GHD, Andina Minerals, 2012.
Ref. 16: Proyecto Arqueros. Estudio de Impacto Ambiental. Laguna Resources Chile, Minería y Medio Ambiente Ltda., 2011.
Ref. 17: Optimización Proyecto Minero Cerro Casale. Estudio de Impacto Ambiental. Compañía Minera Casale, MWH, 2011.
Ref. 18: Reinicio y Expansión Proyecto Lobo Marte. Estudio de Impacto Ambiental. Kinross, AMEC, 2011.
Ref. 19: Explotación Minera Proyecto Purén. Estudio de Impacto Ambiental. Sociedad Contractual Minera Purén, Minería y Medio Ambiente Ltda., 2007.
Ref. 20: Proyecto Damiana. Estudio de Impacto Ambienta. Codelco Div. Salvador, 2003.
Ref. 21: Proyecto Minero Aldebarán. Estudio de Impacto Ambiental. Cía. Minera Casale, Senes Chile S.A., 2002.
Ref. 22: Proyecto Chimberos. Estudio de Impacto Ambiental. Laguna Resources Chile Ltda., 1997.
Ref. 23: Proyecto Minero Refugio. Estudio de Impacto Ambiental. Cía. Minera Maricunga, SRK Sudamérica, 1994.
Ref. 24: Caracterización de Humedales Alto Andinos para una Gestión Sustentable de las Actividades Productivas del Sector Norte del País, III Región de Atacama, CIREN, Abril de 2013.
Ref. 25: Caracterización de Humedales Alto Andinos para una Gestión Sustentable de las Actividades Productivas del Sector Norte del País, Recursos Hídricos, Parte I, CIREN, Febrero 2013.
Ref. 26: Sistema de Información Territorial de Humedales Altoandinos, SITHA, CIREN (http://sitha.ciren.cl/).
Ref. 27: Estudio de las Cuencas Cerradas de la Cordillera de Copiapó, Hans Niemeyer F., 1967 – 1968.
Ref. 28: Estudio de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos del Altiplano, Biota Gestión y Consultorías

Ambientales Ltda., SAG, 2007.
Ref. 29: Metodologías y Resultados Preliminares Proyecto Hidrogeológico de las Cuencas Hidrográficas del Altiplano de la Región de Atacama, Iriarte D., Sergio; Aguirre A., Igor; Santibáñez I; Venegas M., Congreso Geológico Julio-Agosto 2000.
Ref. 30: Aplicación de una Metodología Hidroquímica para el Análisis de los Aportes y Descarga de los Acuíferos en el Cuenca de Ciénaga Redonda, Altiplano de Copiapó. Venegas S., Marcela; Iriarte D., Sergio, Congreso Geológico Julio-Agosto 2000.
Ref. 31: Interpretación Hidrogeológica de la Génesis de Salares y Lagunas del Altiplano Chileno. Montti, Silvia; Henríquez, Hugo, Segundo Congreso Geológico Chileno, 1979.
Ref. 32: Hidrogeología de la cuenca Laguna del Negro Francisco, Escala 1:100.000, Región de Atacama. N° Mapa: M63.- Autor: Iriarte D., Sergio; Ugalde A., Ignacio; Venegas S., Marcela. SERNAGEOMIN, 1998.
Ref. 33: Mapa hidrogeológico de la Cuenca Salar de Maricunga: sector Ciénaga Redonda, escala 1:100.000, Región de Atacama. N° Mapa: M65. Venegas, M.; Iriarte, S. y Aguirre, I. SERNAGEOMIN, 2000.
Ref.34: Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Campo de Piedra Pómez-Laguna Verde. Región de Atacama, Escala 1:100.000. N° Mapa: M66.- Autor: Santibáñez I., Venegas M. Formato JPG. SERNAGEOMIN, 2005.
Ref. 35: Estudio de Modelación Matemática Hidrogeológica Cuenca del Salar de Pedernales. CPH Consultores Ltda., 2004.
Ref. 36: Hidrogeología Sector Quebrada Piedra Pómez. EDRA, 1999.
Ref. 37: IT DARH Nº 52, Actualización de la Demanda Comprometida en los Sectores Acuíferos Salar de Pedernales Norte y Salar de Pedernales Sur, DARH, 15 de Marzo de 2013.
Ref. 38: IT DARH Nº 131, Evaluación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos Subterráneos en los Sectores Acuíferos Salar de Pedernales Norte y Salar de Pedernales Sur, 12 de Junio de 2013.
Ref. 39: Resolución DGA Nº 44 del 24 de Julio de 2013, que declara como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados Salar de Pedernales Norte y Salar de Pedernales Sur.

Para cada uno de los estudios recopilados y revisados, se ha generado una ficha que contiene una breve reseña, incluyendo un recuadro con información acerca de la localización (región, provincia, cuenca); en el Anexo 4-2 se incluyen las fichas de cada uno de dichos estudios.

Dada la relevancia de los estudios e información recopilada, se ha creído conveniente entregar, en formato digital y como documento interno de trabajo, todos los trabajos recopilados (DOC-1).

5. Caracterización Geomorfológica

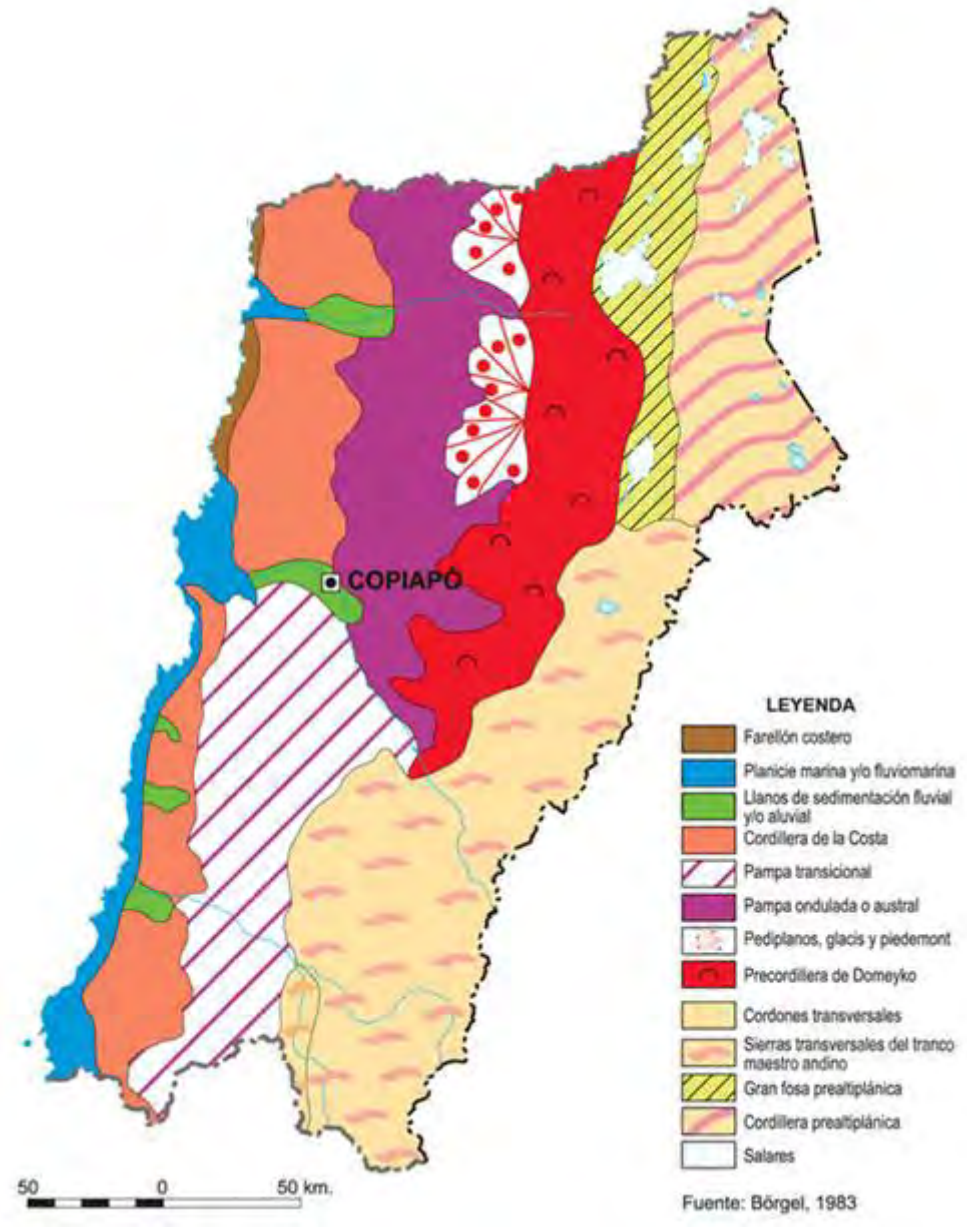
Para efectos de la caracterización geomorfológica de cada una de las 34 cuencas de estudio, se ha utilizado la siguiente información:

- Ref. 2: Estudio Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, regiones XV, I, II y III; SIT Nº 157 (parte 1) y SIT Nº 195 (parte 2)-DICTUC 2009.
- USGS, 2007. Digital Elevation Model (DEM), http://seamless.usgs.gov/.
- Dirección General de Aguas, 2007. Coberturas digitales SIG.
- Morfología de Cuencas Hidrográficas, Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural.
- Google Earth Plus
- ArGis 9.3

En términos generales, a escala regional, es posible discriminar en 8 macrounidades geomorfológicas (Börgel 1983, Ulloa y Ortiz de Zárate 1989): Planicies Fluviomarinas, Cordillera de la Costa, Pampa Transicional, Pampa Ondulada Austral, Cordillera de los Andes, Precordillera Domeyco, Cordillera de Domeyco, y Cuencas Altiplánicas, con una marcada división entre el sector meridional y septentrional (ver Figura 5-1 siguiente). En el primero destaca la ausencia de la Pampa Transicional, mientras el segundo carece de las unidades denominadas Pampa Ondulada Austral, Precordillera y Cordillera de Domeyco, así como de la unidad denominada Cuencas Altiplánicas.

La clara distribución anterior demuestra el carácter transicional que posee la geomorfología regional en el contexto nacional. Con esta situación se logra definir la separación del dominio morfogenético y morfodinámico altiplánico de los cuales hace de límite relativo la cuenca del río Copiapó.
La superficie regional es ocupada por unidades asociadas al sistema cordillerano y precordillerano (40,3 %), las pampas (32,7 %) y las cuencas altiplánicas (18,5 %), cuya presencia vuelve a reforzar la idea antes señalada de extrema rugosidad del relieve de la Región de Atacama.

FIGURA 5-1
GEOMORFOLOGÍA ÁREA DE INTERÉS



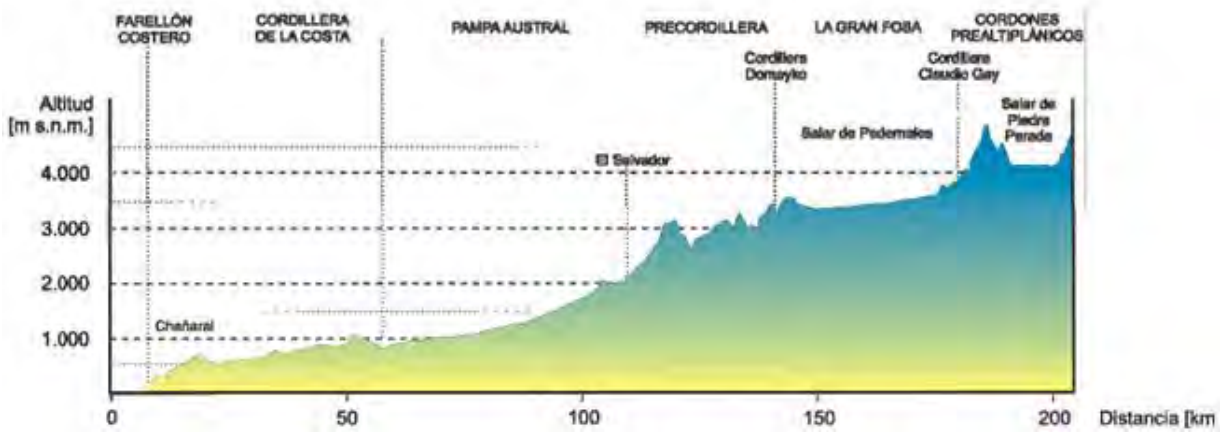
Fuente: Börgel 1983

Esta macrounidad del relieve presenta una variedad de unidades morfotectónicas, producto de cambios fisiográficos tanto en sentido Norte Sur como Este Oeste. Los cambios longitudinales se observan en un perfil transversal a los 26º15', desde la ciudad de Chañaral, al nivel del Océano

Pacífico, hasta el Salar de Piedra Parada, en el Altiplano Chileno. Los quiebres en la pendiente a medida que se va ascendiendo, sirven para diferenciar las unidades que se enumeran a continuación:

- Farellón costero
- Planicie litoral
- Cordillera de la Costa y sus depresiones internas
- Pampa Ondulada o Austral
- Pediplanos y sistemas de glacis o pediment
- Precordillera de Domeyko
- La gran fosa de los salares prealtiplánicos
- Cordones prealtiplánicos meridionales

PERFIL REGIÓN DE ATACAMA (26° 15´)



Fuente: Börgel 1983

La Precordillera de Domeyko corresponde a la tercera y última sección de la Precordillera Andina, que se originó como un relieve de poca envergadura, pero el efecto de las dislocaciones tectónicas pliocénicas dio paso al desarrollo de alturas sobre los 5.000 msnm, actuando como barrera occidental de los salares.

Las cuencas de estudio forman parte de las fosas orientadas Norte - Sur que se emplazan dentro de la unidad geomorfológica de la gran fosa de los salares prealtiplánicos, que posee tres subdivisiones.

La primera, de igual nombre que la unidad, se extiende desde el Norte del Salar de Atacama hasta la Laguna Santa Rosa, al Sur del Salar de Maricunga, y abarca la zona de estudio. En la Región de Atacama presenta

un angostamiento entre los salares de Aguilar y Los Infieles. Otras cuencas corresponden a las del Salar de Pajonales, Salar de Azufrera y Salar de Agua Amarga.

Las otras subdivisiones son la depresión longitudinal prealtiplánica y la depresión de los salares cautivos prealtiplánicos, ubicada al oriente del Salar de Atacama, en la puna. Salares como los de Piedra Parada y Wheelwright, y lagunas como Laguna Verde, corresponden también a esta última división, compuesta por una serie de cuencas salinas aisladas, dispersas entre los cordones andinos prealtiplánicos.

Continuando hacia el Este, se encuentran los cordones prealtiplánicos, de alturas irregulares. Ubicado entre Chañaral-Visviri por el Norte y Ojos del Salado por el Sur, destaca su gran altura y se caracteriza por su carácter volcánico. Actúa como una barrera orográfica frente a las masas de aire amazónicas, y en muchos lugares se utiliza como límite natural entre Chile y sus países limítrofes. Aísla del clima húmedo continental, a los sectores áridos y semiáridos ubicados en su interior.

El emplazamiento tectónico propio de estas cuencas, ha expuesto a distintos tipos litológicos a la influencia del ambiente. Ésta, mediante los factores exógenos (climáticos, hídricos y biológicos), participa en los procesos de erosión, transporte y acumulación, marcada frecuentemente por la actividad volcánica. Las unidades geomorfológicas locales se dividen en relieves de erosión, relieves volcánicos y formas de acumulación, según el factor que influyó con mayor fuerza en su morfología.

Ahora bien, para efectos de caracterizar cada una de las 34 cuencas desde el punto de vista geomorfológico, se han determinado los siguientes parámetros, para cada una de las 34 cuencas de interés (muchos de dichos parámetros se han determinado a través de herramientas del software ArcGis):

a) Delimitación de la Cuenca: a través de imágenes Google Earth Plus, Modelos Digitales de Elevación y el límite de la cuenca según lo establecido en el estudio del Dictuc, se replanteó el límite de la cuenca. Es importante destacar que las cuencas oficiales definidas por la DGA en la zona específica de interés, fueron corregidas por el estudio del Dictuc a través de, entre otros, modelos digitales de elevación.
b) Área de la Cuenca: con el nuevo límite, se calculó el área de la cuenca
c) Cotas Máxima, Mínima y Medias de la Cuenca

d) Perímetro de la Cuenca
e) Longitud del Cauce Principal: distancia que recorre el río principal entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba
f) Ancho Equivalente: relación entre el área y la longitud de la cuenca
g) Pendiente Media de la Cuenca: se determina como la media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante. Es un índice de la velocidad media de la escorrentía, y por lo tanto, de su poder de arrastre o poder erosivo.
h) Pendiente Media del Cauce Principal: en la relación del desnivel del cauce y su longitud.
i) Curva Hipsométrica: representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Describe la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación. También es factible convertir la curva hipsométrica en función adimensional, dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos. Este tipo de gráfico (adimensional) es útil en hidrología para el estudio de similitud entre 2 cuencas, cuando ellas presentan variaciones de la precipitación y de la evaporación con la altura.
j) Densidad de Drenaje: se determina dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor potencial de erosión.
k) Centro de Gravedad de la Cuenca
l) Coeficiente de Gravelius: relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de una cuenca teórica circular de igual área. Estima por lo tanto la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca (longitud que abarca desde la salida de la cuenca hasta el punto más alejado de la misma). El índice será mayor o igual a la unidad, de modo que cuanto más cercano a ella se encuentre, más se aproximará su forma a la del círculo, en cuyo caso la cuenca tendrá mayores posibilidades de producir crecientes con mayores picos (caudales). Por contrapartida, cuando "Kc" se aleja más del valor unidad significa un mayor alargamiento en la forma de la cuenca.
m) Rectángulo Equivalente: supone la transformación geométrica de la cuenca real en una de superficie rectangular de lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (l). Esta cuenca teórica tendrá el mismo coeficiente de Gravelius y la misma distribución altitudinal de la cuenca original.

Respecto a las áreas de cada una de las 34 cuencas que fueron recalculadas, en el Cuadro 5-1 se incluyen los resultados obtenidos.

CUADRO 5-1
ÁREAS CUENCAS ALTO ANDINAS RECALCULADAS

ID	NOMBRE CUENCA	Área Estudio DICTUC	Área Recalculada	Diferencias	
		(km2)	(km2)	(km2)	(%)
1	Laguna del Negro Francisco	939,36	905,6	33,75	3,73
2	Salar de Pedernales	3.515,55	3.596,2	-80,68	-2,24
3	Salar de Infieles	304,44	305,9	-1,48	-0,48
4	Cerro el Encanche	176,82	178,4	-1,57	-0,88
5	Cerro Blanco	347,15	392,1	-44,95	-11,46
6	La Laguna	495,02	456,7	38,36	8,40
7	Qda. Los Maranceles	107,34	107,0	0,30	0,28
8	Cerro Conito de los Infiele	76,54	75,4	1,09	1,45
9	Sierra Nevada	142,20	163,5	-21,33	-13,04
10	Salar de Aguilar	546,67	513,5	33,18	6,46
11	Qda. La Rossa	129,25	130,6	-1,31	-1,01
12	Wheelwrigth	292,99	290,8	2,24	0,77
13	Laguna Escondida	217,79	199,7	18,09	9,06
14	Laguna Verde	1.001,06	1.003,6	-2,52	-0,25
15	Qda. Las Amarillas	184,04	181,7	2,36	1,30
16	Cerro Agua Caliente *	347,15	-		
17	Cerro Nevado de Incahuasi *	37,13	-		
18	Salar de Piedra Parada	383,61	377,5	6,09	1,61
19	Cerro Agua de Morales	89,66	89,6	0,04	0,05
20	Lagunas del Jilguero	113,16	113,5	-0,29	-0,26
21	Laguna del Bayo	319,85	312,8	7,00	2,24
22	Qda. El llano	104,42	104,7	-0,33	-0,31
23	Salar Grande	783,58	780,7	2,92	0,37
24	Qda. la Trinchera	112,04	115,0	-2,96	-2,58
25	Laguna de las Parinas	95,85	95,2	0,67	0,70
26	Laguna de Colorados	423,53	411,4	12,16	2,96
27	Lagunas Bravas	413,81	412,4	1,45	0,35
28	Salar de Maricunga	2.141,55	2.206,6	-65,08	-2,95
29	Qda. Nevados del Jucalitos **	933,77	916,4	17,37	1,90
30	Salar de las Parinas	615,05	580,1	34,94	6,02
31	Salar de la Isla	733,54	758,4	-24,86	-3,28
32	Salar de Gorbea	361,61	356,8	4,78	1,34
33	Salar de la Azufrera	250,88	249,5	1,41	0,57
34	Salar de Agua Amarga	460,35	457,8	2,58	0,56
	*: Cuencas eliminadas				
	**: Cuenca Piedra Pómez				

Fuente: Elaboración propia; Google Earth Pro

A continuación se procede a describir la geomorfología de cada una de las 34 cuencas de estudio; su descripción se presenta de Norte a Sur.

a) Salar de Gorbea (cuenca Nº 32)

Corresponde a la cuenca endorreica cuyo límite se encuentra más al Norte entre las de la Región de Atacama, limitando por el Norte con la Región de Antofagasta, al oriente con Argentina y al poniente con la hoya del Salar de la Azufrera. Esta hoya hidrográfica posee una superficie de 356,8 km2, que en su mayoría corresponde a sectores rocosos y de lava, con una elevación media 4.431,5 msnm.

El salar propiamente tal tiene una superficie de 31 km2 (calculado según google earth plus) y se encuentra en el sector poniente de la cuenca. Su alimentación hídrica es a través de varias quebradas intermitentes que descienden desde el Este y desde el Sur. En su interior se encuentran una serie de lagunas que son casi todas "ojos" de unos metros de profundidad. Más al Sur existe un pequeño salar, de nombre Salar Ignorado, que aparece casi como una sub-cuenca del salar de Gorbea.

Los principales cerros son Volcán Cerro Bayo (5.401 msnm) y Volcán Cordón del Azufre (5.463 msnm)

SALAR DE GORBEA



b) Salar de la Azufrera (cuenca N° 33)

Se encuentra en el límite Norte de la Cordillera de los Andes en la III Región, también limitando con la Región de Antofagasta al Norte, específicamente con la cuenca del salar de Pajonales. Al poniente de la cuenca se encuentra el Salar de Agua Amarga. El salar de la Azufrera puede ser confundido por su nombre con la cuenca de la Laguna Azufrera, ubicada en la II Región.

Esta cuenca endorreica tiene una superficie de 249,5 km2 y una elevación media de 3.993,3 msnm.

El salar está ubicado hacia el Sur de la cuenca y corresponde a una costra de yeso, en el que se desarrollan dos pequeñas lagunas en la orilla Oeste. Desde el Este desciende la quebrada Azufre Quemado, cayendo en el salar al Sur del llano Plato de Sopa. En su orilla Oeste recibe poca agua superficial a través de una vertiente difusa.

El cerro más alto se ubica en el límite de la parte Oeste de la cuenca (cerro Azufre), y tiene una altura de 5.480 msnm, aproximadamente.

CERRO AZUFRE (mirado desde el Este)



SALAR DE LA AZUFRERA



c) Quebrada La Rosa (cuenca N° 11)

Esta cuenca endorreica es una pequeña hoya ubicada entre los salares de Gorbea por el Norte y el salar de la Isla por el Sur. Su superficie alcanza los 130,6 km2 y tiene una altura media de 4.458,2 msnm, con una forma alongada Oeste – Este. Al oriente limita con Argentina.

La quebrada La Rosa, de carácter intermitente, baja por la ladera del cerro del mismo nombre en el poniente de la cuenca, y cae en el llano que queda al Oeste de esta hoya hidrográfica.

El cerro de mayor altura se alza hasta los 4.970 msnm, aproximadamente.

LLANURA TERMINAL DE LA QUEBRADA LA ROSA



d) Salar de Agua Amarga (cuenca Nº 34)

Hoya hidrográfica situada en el extremo Norte de la Región de Atacama, en el límite con la Región de Antofagasta y al Sur del salar de Pajonales. Tiene una superficie de 457,8 km2 y una altura media de 4.048,1 msnm.

Al Sur limita con los salares de Aguilar y de la Isla y al Oeste tiene la cuenca cerrada de Cerro Blanco, las que están separadas por el cordón de la Cordillera Domeyko, en el que se encuentra inserta esta última. La cuenca exorreica de Tal Tal también se encuentra al Oeste del salar de Agua Amarga, desembocando en la localidad que le da su nombre.

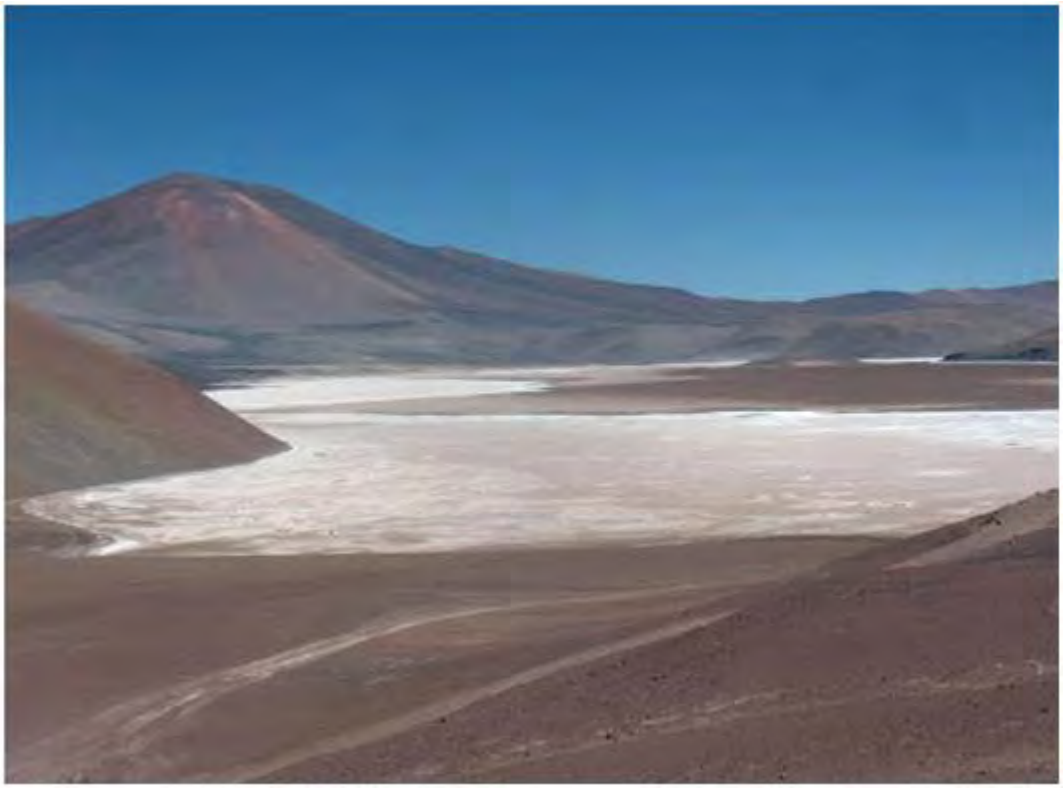
Según el mapa geológico, la cuenca es casi enteramente volcánica. El salar ubicado al centro es una costra de yeso con "ojos" al Norte y pequeñas lagunas superficiales mal definidas en las orillas Este y Sur. Según los mapas del IGM, el salar rodea una laguna de gran extensión, sin embargo, de acuerdo a visitas a terreno realizadas por el Convenio IRD – DGA – UCN

la laguna no existe, correspondiendo a parte de la costra teñida de marrón por la tierra.

El Llano Blanco ubicado al norponiente del salar recibiría los aportes de varias quebradas intermitentes provenientes del Norte de la cuenca, además de la quebrada Cerro Blanco que cae baja desde el Oeste.

Los cerros más altos corresponden al Cerro Azufre (ver descripción anterior) ubicado y es parte del límite Norte de la cuenca (5.480 msnm), uno ubicado al Sur del límite de la cuenca, con una altura aproximada de 4.980 msnm y un último que se localiza al Oeste de la cuenca, alzándose hasta los 5.060 msnm, aproximadamente.

SALAR DE AGUA AMARGA



e) Salar de La Isla (cuenca Nº 31)

Al oriente del Salar de Aguilar y limitando por el Este con la frontera con Argentina, en la Sierra de Aguas Blancas, y con la cuenca compartida denominada Salar de las Parinas. Con una superficie de 758,4 km2, esta

cuenca alcanza alturas que sobrepasan los 5.700 msnm, teniendo una elevación media de 4.322,7 msnm.

La cuenca de drenaje del salar de la Isla es exclusivamente volcánica, con importantes yacimientos de azufre al Noreste. Respecto de su alimentación, la gran mayoría de sus tributarios provienen del sector Norte, descendiendo desde los cordones montañosos existentes a ambos lados del salar. La costra salina propiamente tal se orienta en dirección Norte Sur, con un angostamiento en el centro y la parte Norte más ancha. Su superficie compromete poco más del 20% del área total de la cuenca.

De acuerdo con la cartografía y las otras referencias revisadas, existen algunas lagunas de considerable extensión, las que son alimentadas por afloramientos permanentes en el borde del área del salar.

Cerros de alturas importantes dentro y en el límite de la cuenca son:

- Cerro al Sureste: 5.250 msnm
- Cerro al Sureste: 5.700 msnm
- Cerro al Sureste: 5.630 msnm
- Cerros al Oeste: 5.100 msnm
- Cordón Montañoso al Noreste: 5.300 msnm

SALAR DE LA ISLA



f) Cerro Blanco (cuenca N° 5)

Está ubicada al Surponiente de la cuenca del salar de Agua Amarga, en plena Cordillera Domeyko. Al Oeste de ésta se encuentra la cuenca exorreica de Tal Tal. La hoya hidrográfica de Cerro Blanco tiene una superficie de 392,1 km2 y su altura media es de 4.018 msnm. Su nombre se debe al cerro que la separa del salar con el que colinda por el lado Norte.

La cuenca no forma salar ni laguna en su interior, sin embargo su hidrografía está conformada por numerosas quebradas que fluyen por las laderas de las cumbres occidentales y desde el Sur hacia la cota de la depresión principal. Estas quebradas aparecen normalmente inactivas y según la cartografía desaparecen en el llano ubicado en el centro.

Los cerros más altos de esta cuenca se alzan hasta una cota aproximada de 4.500 msnm.

CORDILLERA SECTOR PLATO DE SOPA



g) Salar de Aguilar (cuenca Nº 10)

Es una cuenca endorreica que forma un importante salar en esta Región, tiene una superficie de 513,5 km2 y una altura media de 3.917,5 msnm. Se encuentra inserta, entre otras cuencas, en la franja que conforman la Puna de Atacama, limitando con otros de los salares más importantes de esta zona, como son el de la Isla y Grande.

La depresión que aloja al salar se encuentra ocupando la parte baja de la cuenca, ubicada en el centro de una hoya hidrográfica que no tiene una forma geométrica definida. La costra de sal ocupa cerca del 15% del área total y es rugosa con un color marrón.

El salar de Aguilar recibe algunos aportes intermitentes de quebradas, principalmente provenientes del sector Noreste y Este, donde destaca la quebrada Juan de la Vega, mientras que por el Oeste destaca la quebrada El Enganche.

Los cerros de mayor altura se localizan por el lado Noroeste del límite de la cuenca, y alcanzan alturas de 4.800 msnm, aproximadamente.

A continuación se muestran algunas fotografías del sector de la cuenca del salar de Aguilar.

Entre el 10% y el 15% de las zonas irrigadas presentan actualmente problemas de salinización de diferente grado.

Cada año se pierden entre un 0,5% y un 1% de las áreas irrigadas, con casi la mitad de todas ellas bajo amenaza a largo plazo.

CRÁTER JUAN DE LA VEGA (sector Sur de la cuenca)



SALAR DE AGUILAR (sector Sur)



h) Cerro El Encanche (cuenca N° 4)

Se encuentra en el borde occidental de la franja altiplánica de la III Región de Atacama, al Sur de la cuenca de Cerro Blanco y al Norte del salar de Infieles. Por estar en esta posición limita al poniente con las cuencas de la quebrada Pan de Azúcar y del Río Salado, que caen bajan por la depresión central y desembocan en el mar. Tiene una superficie de 178,4 km2 y una altura media de 4.268,7 msnm.

Tiene una forma alongada de Norte a Sur, con poca diferencia de cota entre su valor mínimo y máximo en relación a las otras cuencas de su tipo; su altura mínima está en los 4.065 msnm y la máxima de 4.850 msnm. Es por esta misma razón la que tiene una pendiente media menor (es más homogénea en términos de relieve) en toda la Región, zona que corresponde al Sur del llano de Domeyko.

El cerro más alto forma parte del límite Sur de la cuenca, y tiene una altura de 4.850 msnm, aproximadamente.

i) Cerro Conito de los Infieles (cuenca N° 8)

Cuenca endorreica rodeada por los salares de Aguilar, Grande y de Infieles, con una superficie de 75,4 km2 y una altura media de 4.285,0 msnm. Es pequeña en comparación con sus vecinas y no forma salar ni laguna. La depresión aparece rellenada con sedimentos que se ordenan de acuerdo al sencillo patrón de drenaje, de Sur a Norte.

La cadena de cerros Cordón Conito de los Infieles es el relieve más importante, que define el límite poniente de su hidrografía y separa a esta cuenca de los salares de los Infieles por el sector Sur y del de Aguilar por el sector Norte.

El cerro más alto en la cuenca se ubica en el límite Suroriente de la cuenca, y su altura es de 4.870 msnm, aproximadamente.

j) Salar Grande (cuenca N° 23)

Se encuentra en la Cordillera de los Andes de la Tercera Región, a diferencia del otro salar Grande existente en la Cordillera de la Costa de la Primera Región. Su extensión es de 780,7 km2 y limita al Norte con los salares de la Isla y de Aguilar. El resto de su perímetro está cercado en su

mayoría por cuencas endorreicas menores, que se desarrollan en la Puna de la Región de Atacama.

La elevación media de la cuenca es de 4.399,8 msnm y su depresión se desarrolla al oriente del Cerro del salar Grande. El salar propiamente tal es una "lengua" que tiene orientación Norte – Sur por unos 11 km de longitud y unos 3 km de ancho, y corre entre el Cerro Negro y el Cerro que lleva el nombre del salar. Esta "costra" es de tipo playa, con sedimentos salinos recubiertos en la parte Sur por un sistema complejo de lagunas superficiales.

Al poniente de éste y al Norte del Cerro del Salar Grande se desarrolla una planicie que corresponde a un relleno sedimentario (Formación Gravas de Atacama), donde se infiltran las quebradas intermitentes que bajan desde el norponiente. Las quebradas más importantes en esta hoya hidrográfica son la quebrada Morales, Blanda y Ancha por el Norte, y la quebrada las Pircas por el Oriente. Varios otros afluentes al salar se distinguen en el relieve, sin embargo son todos intermitentes, que no existen como cursos superficiales durante la estación seca.

Destaca el volcán Salar Grande, el cual se ubica en la parte centro – Oeste de la cuenca, de una altura cercana a los 5.000 msnm.

VOLCÁN SALAR GRANDE



k) Salar de los Infieles (cuenca Nº 3)

Esta cuenca cerrada se ubica al Norte del Salar de Pedernales, su altura media se estimó en los 4.038,1 msnm y su superficie es de 305,9 km2. Al igual que la cuenca de Cerro El Encanche, que se encuentra al Norte de ésta, tiene al poniente las cuencas de la quebrada Pan de Azúcar y del Río Salado, que se desarrollan en la depresión central.

La geología de la cuenca está constituida exclusivamente por formaciones volcánicas. Su pequeño salar de casi 7 km2 es una costra de yeso, con pocas y pequeñas pozas, que aparentan ser más afloramiento de napa que lagunas.

Las alturas máximas de los cerros se acercan a los 5.000 msnm (límite Norte de la cuenca).

SALAR DE LOS INFIELES



l) Salar de las Parinas (cuenca Nº 30)

Es una cuenca compartida con Argentina ubicada en el sector Norte de la Región, al Este del Salar de la Isla y del Salar Grande, tiene una superficie de 580,1 km2 y una altura media de 4.376,7 Km2. Su base de equilibrio o salar, de unos 40 km2, se encuentra en territorio nacional, y a él

convergen las quebradas que lo alimentan en su mayoría desde el cordón del Este (cerros de León Muerto y cerro Aguas Blancas).

No hay evidencia de aportes al salar desde zonas altas, todos estos afloran en la orilla donde alimentan lagunas someras y de extensión variable. El Sur y Este de la zona donde se encuentra la costra son, según las imágenes satelitales, donde se concentran estas pozas superficiales.

El cerro de mayor altura se ubica en el límite Norte de la cuenca, y asciende a 5.750 msnm.

SALAR DE LAS PARINAS VISTO DESDE EL NORTE



m) Laguna de Colorados (cuenca N° 26)

La cuenca de Laguna de Colorados se encuentra casi completamente en Argentina, al Este de las cuencas del salar de las Parinas y de Quebrada la Trinchera. Una pequeña parte de la cuenca se encuentra en territorio chileno (menor al 10%), con la quebrada Honda que drena hacia el Este.
La cuenca tiene una forma alargada en dirección Norte - Sur, en que la parte chilena está en el centro - Sur. Su mayor altura define el límite entre ambos países y corresponde al Cerros Colorados (Cumbre Negra), con 6.050 msnm, aproximadamente. Por otro lado el área de la cuenca es de 411,4 km2, y la cota media es de 4.417,6 msnm. El salar también recibe el nombre de León Muerto.

n) Quebrada La Trinchera (cuenca N° 24)

La cuenca de la quebrada La Trinchera se encuentra cercana al límite con Argentina, al este de la cuenca de la Quebrada El Llano. Una proporción menor de esta hoya hidrográfica pertenece al país vecino.

Al igual que la cuenca anterior, de la quebrada El Llano, ésta no forma laguna ni salar, en particular porque cuenta con una depresión con poca superficie en relación a su área total de 115,0 km2 y una altura media de 4.796,5 msnm.

Esta depresión se encuentra al Norte de la cuenca, y recibe los aportes de las quebradas intermitentes de El Bajo y La Trinchera. Esta última es la de mayor longitud, que tiene su cabecera en territorio argentino y drena el sector Sur de la cuenca, desarrollándose con una dirección Sur – Norte.

o) Quebrada El Llano (cuenca N° 22)

Es una cuenca cerrada de 104,7 km2, con una altura media de 4.757,7 msnm, cuyo relieve más característico es el Nevado León Muerto que separa esta cuenca del salar de las Parinas.

Debido a su elevada altura media y a su latitud, su cobertura nival es más frecuente que en otras de las cuencas endorreicas descritas. En esta hoya hay tres quebradas que son identificadas en la cartografía IGM, y que convergen a la depresión que está a los pies del cerro Gemelos o Dos Puntas al Nororiente. Estas quebradas son Tres Puntas, Los Medanos y El Llano.

El cerro más alto se ubica en el límite Sur de la cuenca, y asciende a 5.700 msnm, aproximadamente.

p) Quebrada Los Maranceles (cuenca N° 7)

Se encuentra rodeada por grandes cuencas de la Puna de Atacama (salares de Pedernales, Infieles y Grande), siendo ésta de un tamaño menor en comparación. Su superficie es de 107 km2 y tiene una altura media de 4.390,3 msnm.

Aquí no se forma laguna ni salar, sin embargo en la cartografía IGM aparece la presencia de un salar en el sector poniente de la depresión de

la cuenca. De acuerdo a las imágenes satelitales este sector corresponde a un relleno sedimentario con forma de delta, creado por el desplaye de la quebrada Los Maranceles, que a su vez recibe a la quebrada La Punilla. Estas tienen una dirección Este – Oeste.

El cerro de mayor altura se ubica en el límite Este, y es de 5.000 msnm.

q) Cerros Agua de Morales (cuenca N° 19)

Esta es una cuenca de 89,6 km2 ubicada al Este de La Laguna y al Sur del salar Grande. Tiene una altura media de 4.793,6 msnm y una forma alargada SE – NO.

La quebrada La Azufrera nace en el Cordón Azufrera Tres Puntas, en el límite Norponiente, y cae en la depresión a los pies del cerro Agua de Morales, donde se encuentra la depresión principal. Otra depresión se encuentra en la parte Norte de la cuenca, separada de la Sur por la ladera del cerro Punta del Viento.

Los cerros de mayor altura se ubican en el límite Noroeste, y sus alturas llegan a los 5.300 msnm.

r) La Laguna (cuenca N° 6)

Esta cuenca endorreica se encuentra al Este de la parte Norte del salar de Pedernales, la separa de ésta los cerros Portezuelo del Bajo y La Nuez (Salar Norte). Su superficie es de 456,7 km2 y tiene una altura media de 4.202,9 msnm.

El salar se encuentra al poniente de la cuenca, ocupando la mitad más septentrional donde se encuentra el punto más bajo de esta hoya hidrográfica. Desde el oriente (Cordón Azufrera Tres Puntas y Panteón) bajan numerosas quebradas que convergen a esta zona de baja pendiente.

Destacan la quebrada Honda de las Pircas por el Norte, la quebrada del Burro Norte por el centro y la quebrada Panteón de Aliste por el Sur, que luego de caer al valle se alinea en dirección al Norte para caer en el salar.

Los cerros de mayor altura se ubican en la parte Este de la cuenca, y sus alturas bordean los 5.400 msnm.

s) Laguna de Las Parinas (cuenca Nº 25)

Esta cuenca está rodeada por las cuencas del salar Grande (Norte y Oeste), la quebrada El Llano (Norte y Este) y la de Lagunas Bravas (Sur). Su superficie alcanza los 95,2 km2 y su elevación media es de 4.664,3 msnm.

Usualmente las altas cumbres que rodean esta cuenca se encuentran nevadas, lo que permiten sustentar a la pequeña laguna de unas 9 há que da el nombre a la cuenca. Las principales quebradas que convergen a la concavidad en el centro de esta unidad son Tres Puntas y Ancha, que bajan de las laderas del Nevado León Muerto (5.750 msnm).

t) Lagunas Bravas (cuenca Nº 27)

Se encuentra limitando con Argentina al Este, donde tiene una parte de su superficie, y al Sur con el salar Grande y el salar de las Parinas. Su área es de 412,4 km2 y tiene una altura media de 4.615,8 msnm. Al interior de la cuenca hay varios cerros islas, que interfieren o definen en definitiva los patrones de escurrimiento. Algunos de estos son Pajonales, Morado y Lagunas Bravas.

Las 3 lagunas que se desarrollan en esta cuenca están conectadas y alineadas de Norte a Sur, misma dirección que la pendiente de la cuenca. La mayor de ellas es la que se encuentra más meridional, con una superficie cercana a los 8 km2, mientras la que le sigue en tamaño bordea 1 km2.

Algunas quebradas bajan durante la época húmeda desde el Norte de la cuenca para infiltrarse en el sector de la Pampa Amarilla. La más importante de éstas es la quebrada Barrancas Blancas, seguida de la quebrada Pedregosa.

Los principales cerros (volcanes) tienen alturas que bordean los 5.250 msnm, aproximadamente (por ejemplo el Volcán Piedra Parada, 5.300 msnm).

LAGUNA BRAVA NORTE



BOFEDAL LAGUNA BRAVA NORTE



u) Salar de Piedra Parada (cuenca N° 18)

Se ubica limitando al poniente con las cuencas de La Laguna y del salar de Pedernales, con esta última también limita al Sur. Tiene un área de 377,5 km2 y una altura media de 4.503,1 msnm.

El salar se encuentra en el centro – oriente de la cuenca, y tiene una superficie aproximada de 27 km2, tiene una forma alargada O – E y parece haber estado conectada con Lagunas del Jilguero en el oriente.

En el límite Sur de la cuenca se desarrolla un cordón montañoso de una altura cercana a los 6.000 msnm.

SALAR PIEDRA PARADA



BOFEDALES EN SALAR PIEDRA PARADA



v) Laguna del Bayo (cuenca N° 21)

Esta cuenca endorreica se encuentra con una parte en territorio chileno, pero su mayor superficie (cerca del 75%) se encuentra en territorio argentino. La frontera pasa de Norte a Sur uniendo los cerros Tridente y Sierra Nevada, que también son parte del límite de esta cuenca en el Norte y Sur, respectivamente. La superficie de esta unidad es de 312,8 km2 y su altura media alcanza los 4.875,6 msnm.

La laguna propiamente tal se encuentra en territorio chileno, a unos 800 m de la frontera, pero sus aportes provienen en su mayoría desde el lado Este, en Argentina. Lejos de ser una laguna somera, la laguna es más similar a un pequeño lago, de mayor profundidad aunque ésta se desconoce.

Los cerros de mayor altura son de una altura aproximada de 5.400 msnm.

LAGUNA TOTOTA
(ubicada dentro de la cuenca Laguna del Bayo)



w) Lagunas del Jilguero (cuenca N° 20)

La cuenca de Lagunas del Jilguero se encuentra al oriente de la del salar de Piedra Parada, y tal como fuera mencionado antes, sus lagunas pareciera que estuvieron conectadas en algún momento. Al Sur de esta cuenca se encuentra el salar de Pedernales, que se extiende hacia el

Oriente alcanzando un vértice en la Sierra Nevada, punto que hace de límite con Argentina. El área de esta cuenca es de 113,5 km2 y su altura media es de 4.719,4 msnm.

Al interior de la cuenca se desarrollan 2 lagunas, la más occidental es la que se uniría a la del salar de Piedra Parada. La otra se encuentra muy cercana, al Este de la primera. De acuerdo con el estudio de geoquímica en cuencas cerradas (SIT Nº 51, Ref. 7), ambas lagunas se unirían durante épocas de mayor abundancia de precipitaciones, debido al relieve de baja altura que las separa.

Las más altas cumbres alcanzan los 5.300 msnm (límite Sureste).

LAGUNA DEL JILGUERO SECTOR OCCIDENTAL



x) Sierra Nevada (cuenca Nº 9)

Esta hoya hidrográfica se encuentra al Sur de la Laguna del Bayo y al Este de la gran cuenca del salar de Pedernales. La mayor parte de su superficie se encuentra en Chile, siendo una cuenca compartida con una porción en el nororiente ubicada en Argentina. Todo el límite Norte de la cuenca está definido por la Sierra Nevada de Lagunas Bravas, un bloque que une la cumbre de dos grandes cerros en este sector, Sierra Nevada y Cumbre del Laudo, separados por poco más de 6 km. La superficie total de la cuenca es de 163,5 km2 y su altura media de 5.104,5 msnm.

Esta cuenca no tiene laguna ni salar en su depresión. Por su altura media y latitud se encuentra frecuentemente con nieve.

La cumbre más alta corresponde a un volcán ubicado al Suroeste, cuya altura es cercana a los 6.000 msnm.

y) Laguna Escondida (cuenca Nº 13)

La cuenca de la Laguna Escondida es también una cuenca compartida con Argentina, de características endorreicas, cuya base de equilibrio se encuentra en Chile. Su ubicación es al Oriente de la cuenca de Sierra Nevada y de Weelwright. La superficie de esta hoya hidrográfica es de 199,7 km2 y su altura media de 4.826,9 msnm.

La laguna se encuentra a los pies del cerro Laguna Escondida, al occidente, en el fondo de una ladera de gran pendiente. Comparte con la Laguna del Bayo la característica de recibir aportes de quebradas que nacen al otro lado de la frontera.

El cerro de mayor altura corresponde al cerro El Cóndor (6.532 msnm).

z) Wheelwrigth (cuenca Nº 12)

Se encuentra emplazada al Este de la parte más Norte de la cuenca del salar de Pedernales, de la que la separa el Cordón del Salar de Eulogio, y al Sur de las cuencas de Sierra Nevada y Laguna Escondida, donde se encuentran los relieves Cordón Rayado y Cordón Amarillo. La hoya tiene una superficie de 290,8 km2 y una altura media de 4.670,6 msnm.

El salar es de tipo "playa", y contiene algunas lagunas de baja profundidad ubicadas en los bordes, las cuales son alimentadas por algunas vertientes de características difusas y permanentes que afloran muy próximas a ellas. Destacan las quebradas de la Laguna que fluye de Norte a Sur, del Camino que lo hace en sentido Este – Oeste y Pirca de Indio y Ermitaño en sentido Sur Norte. La laguna recibe también el nombre de Eulogio.
En el límite Norte se localiza el volcán El Ermitaño, de 6.146 msnm, y el volcán Peña Blanca, de 6.030 msnm.

a-1) Quebrada Las Amarillas (cuenca Nº 15)

Se ubica en la Cordillera de los Andes de la Región de Atacama, al Este de la cuenca Wheelwright y al Sur de la cuenca de Laguna Escondida. Su depresión principal se encuentra en Chile y una parte de su superficie en Argentina, donde nace la quebrada Las Amarillas que da nombre a la cuenca.

Esta hoya no forma laguna ni salar y en su depresión, la Pampa de los Amarillos, se infiltran las aguas que bajan desde las laderas de los cerros que la rodean. Esta área se encuentra en el centro – Sur de la cuenca, hacia donde drena además la quebrada Los Barriales de Norte a Sur. La superficie de la cuenca es de 181,7 km2 y su altura media es de 4.881,4 msnm.

En el límite Norte de la cuenca se localiza el cerro El Cóndor, de altura 6.3532 msnm. Los volcanes por el lado Sur alcanzan alturas de aproximadamente 5.800 msnm.

b-1) Salar de Pedernales (cuenca Nº 2)

La hoya del salar de Pedernales es la cuenca cerrada de mayor superficie en la III Región, con una extensión de 3.596,2 km2. Ubicada al oriente de la cuenca exorreica del río Salado, está separada de ésta por la Cordillera de Domeyko, que en esta zona tiene unos 200 m de espesor.

Desde hace unos 70 años, la cuenca cuenta con una obra de descarga hacia la parte alta de la hoya del río Salado, por lo que en rigor ya no es una cuenca endorreica. Otra unidad morfológica que la separa de las cuencas de la depresión central es la Sierra Bora, que constituye el límite más al Sur.

La altitud media de esta unidad es de 3.994,4 msnm, siendo sus más altas cumbres superiores a los 6.000 msnm. Como ocurre con todas las grandes cuencas, ésta se caracteriza por importantes variaciones morfológicas, climatológicas y geológicas. Su geología es una mezcla de terrenos sedimentarios, de formaciones volcánicas y de rocas plutónicas. El salar mismo es también el más grande de esta Región, cubre una superficie de unos 326 km2 y corresponde a una costra de yeso y halita, con pocas y pequeñas lagunas generalmente pegadas a las orillas.

Las lagunas ubicadas al noreste son profundos "ojos" en la costra de sal, las demás son superficiales. El salar se encuentra pegado al límite occidental de la cuenca, en su extremo Norte. La pendiente general de esta hoya hidrográfica conduce a esta depresión, con el río La Ola como su tributario superficial más importante corriendo de Sur a Norte y, desde el llano La Ola, con una inclinación de unos 45º hacia el Este. Aguas arriba de este cambio de dirección ubicado al oriente del cerro Punta Negra, el río recibe algunos tributarios, principalmente desde el Este, donde destacan el río Leoncito y el río Juncalito, ambos de escurrimiento permanente.

Los cerros de mayor altura se ubican en el límite Sur de la cuenca, alcanzando aturas de 6.000 msnm.

OJO DE AGUA EN EL SALAR DE PEDERNALES



RÍO JUNCALITO



VISTA DEL SALAR DESDE EL VOLCÁN DOÑA INÉS



c-1) Laguna Verde (cuenca N° 14)

La cuenca de Laguna Verde tiene limitando al Oeste la de Piedra Pómez y al este con Argentina, definiendo en parte la frontera. Su superficie es de 1.003,6 km2 y tiene una altura media de 4.914,7 msnm, con la laguna ubicada al Norte del cerro Mulas Muertas que se emplaza en el centro de la cuenca. La laguna ocupa el fondo de un profundo valle casi circular, rodeado de volcanes que normalmente están cubiertos de nieve (Nevado Ojos del Salado, El Muerto y el Nevado Incahuasi).

Otra depresión se encuentra al poniente de la laguna, y corresponde a un relleno sedimentario donde afloran también parte de las aguas subterráneas infiltradas aguas arriba en el Oeste de la cuenca. El río Peñas Blancas nace en esta zona, en la descarga de la quebrada del mismo nombre que cae desde el cerro Peña Blanca al Norte. Las aguas corren en la depresión de Oeste a Este para desembocar en la laguna. El río Peñas Blancas es alimentado además por la quebrada Barrancas (O – E) y la quebrada Ojos del Salado (S - N), que a su vez recibe a la quebrada Mulas Muertas que drena parte del Sur de la cuenca.

Otras quebradas y arroyos caen por el Oeste a la laguna salada de unos 15 km2, como el arroyo Agua Dulce y las quebradas San Francisco y El Fraile, las que se infiltran en la depresión previa y generan afloramientos aguas abajo. A su vez estos sustentan algunas lagunas menores en el borde.

Los principales cerros (todos ellos ubicados en los límites de la cuenca) son los siguientes:

- Cerro El Muerto (6.488 msnm)
- Nevado San Francisco (6.016 msnm)
- Ojos del Salado (6.893 msnm)
- Incahuasi (6.621 msnm)

LAGUNA VERDE



d-1) Piedra Pómez (cuenca N° 29)

La cuenca de Piedra Pómez se encuentra al este de la del salar de Maricunga y se ha considerado en algunos estudios como parte de ésta, dado que no existe otra de su tamaño que no forme laguna ni salar en su depresión. Las aguas que se infiltran en este punto estarían fluyendo hacia su mentada vecina.

Como la delineación que se hace en este capítulo es de tipo superficial, se han puesto de forma separada, dado que los antecedentes revisados indican que existe independencia. El cerro Los Portezuelos se emplaza en la zona de posible conexión superficial, cerrando la divisoria entre el Nevado Tres Cruces y la parte Sur de la Cordillera Claudio Gay.

Esta cuenca posee una superficie de 916,4 km2 y una altura media de 4.911,2 msnm, las alturas de esta unidad fluctúan entre los 4.340 y los 6.749 en el Nevado Tres Cruces. Las más importantes quebradas que desembocan en la depresión son Nevados del Juncalito y Piedra Pómez, que bajan de Norte a Sur y en la última parte de su recorrido tornan hacia el poniente.

PÓMEZ



e-1) Cerro Agua Caliente (cuenca N° 16)

Esta cuenca se localiza aproximadamente en un 90 % en el lado argentino.

La cuenca drena de Norte a Sur, hacia el lado argentino. Sus cumbres más altas son cerro Cazadero (6.660 msnm) y los Ojos del Salado (6.893 msnm).

En la siguiente figura se muestra en planta la configuración de esta cuenca.

CUENCA Nº 16
CERRO AGUA CALIENTE





Debido a que sólo un 10 % del área de esta cuenca drena por el lado chileno, y que además el "cierre" de la cuenca no se produce pues la pendiente del cauce principal siempre va en descenso, de común acuerdo con la inspección fiscal, esta cuenca ha sido eliminada.

f-1) Cerro Nevado de Incahuasi (cuenca N° 17)

La cuenca drena de Oeste a Este, hacia el lado argentino. Sus cumbres más altas corresponden al cerro Incahuasi (6.621 msnm) y Nevados San Francisco (6.016 msnm).

En la siguiente figura se muestra en planta la configuración de esta cuenca.

CUENCA Nº 17
CERRO NEVADO DE INCAHUASI



Debido a que algo menos del 50 % del área de esta cuenca drena por el lado chileno, y que además el "cierre" de la cuenca no se produce pues la pendiente del cauce principal siempre va en descenso, de común acuerdo con la inspección fiscal, esta cuenca ha sido eliminada.

g-1) Salar de Maricunga (cuenca Nº 28)

La hoya hidrográfica del salar de Maricunga tiene una superficie de 2.206,6 km2, siendo la segunda más importante de la Región de Atacama, y una de las mayores del Altiplano – Puna de Chile. Se encuentra al Sur de Pedernales; incluso en otros estudios se ha considerado incluyendo a su vecina oriental, la cuenca de Piedra Pómez.

Su altura media es de 4.297,3 msnm y el salar propiamente tal se encuentra ocupando la mitad Norte de la cuenca, con su borde occidental, a unos 7 km de la divisoria que la separa de la cuenca de Copiapó. La forma del salar es alongada de Norte a Sur, angostándose considerablemente desde la mitad hacia el Sur. Su superficie aproximada alcanza los 140 km2, aproximadamente.

Existen varias quebradas de importancia que alimentan el salar, provenientes en su mayoría desde el Sur y Sureste de la cuenca, las que infiltran en el Llano de Ciénaga Redonda. Pueden mencionarse entre estas las quebradas La Coipa, Pastillos, Ciénaga Redonda y Colorado, además del río Lamas o Lomas. Al Sur del salar se encuentra la Laguna Santa Rosa, que se alimenta de los afloramientos de agua subterránea, y que se desagua a través de un curso superficial que corre por el borde poniente del salar en forma permanente, hasta la laguna que está casi en el centro de la costra. Otras pozas de menor importancia se encuentran en los borde del salar, tanto por el este como por el Oeste, alimentadas por afloramientos subterráneos.

SALAR DE MARICUNGA



BOFEDALES EN SALAR DE MARICUNGA



h-1) Laguna del Negro Francisco (cuenca N° 1)

Es la cuenca más austral del Altiplano – Puna de Chile, cerrando la franja que se ha definido casi continuamente desde la Primera a la Tercera Región. Dos discontinuidades se producen en esta meseta en la parte chilena, la primera abarca la cabecera del río Loa y la segunda el Sur del Salar de Atacama y centro del Salar de Punta Negra, ambas en la Región de Antofagasta.

Más al Sur, todas las cuencas cordilleranas están abiertas hacia el océano Pacífico. Esta unidad se encuentra inserta en la Cordillera de los Andes de la III Región, al Sur de Maricunga, con la que también limita al Este en su

mitad septentrional. Al poniente de ésta se encuentra la subcuenca del río Figueroa, que pertenece a la cuenca del río Copiapó. La superficie de Laguna del Negro Francisco es de 905,6 km2 y su altura media 4.551,8 msnm.

Hidrográficamente es una hoya endorreica, con una depresión en el centro que se ha llamado Llano del Negro Francisco y Llano del Azufre.

En el sector Sur-poniente del llano se encuentra la laguna propiamente tal. El relieve de la cuenca está dado por varios cerros y sierras que la cercan a su alrededor; por el lado este se encuentran de Norte a Sur la Sierra Azufre, la Sierra de la Sal y la Sierra Colorada, mientras todo el borde suroeste de la cuenca es ocupado por el Cordón Darwin.

En el área de la laguna se encuentran dos espejos de agua, separados por un pequeño relieve que tendría un origen aluvial. La laguna Norte, de mayor tamaño, es salada y la laguna Sur es salobre y tiene pocos centímetros más de cota respecto a su vecina a la que drena a través de una conexión que existe en el Sur. De acuerdo con estudios efectuados, ambas lagunas tienen una importante variación histórica en su superficie y profundidad, en particular la del Norte.

El principal aporte a la laguna es el río Astaburuaga, que drena el Sureste de la cuenca, infiltrándose en el llano que la precede para contribuir de forma subterránea.

En el límite Norte de la cuenca se emplaza el volcán Copiapó (6.052 msnm).

LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO



RÍO ASTABURUAGA EN CABECERA



Los parámetros geomorfológicos de cada una de las 32 cuencas de interés se incluyen en el Cuadro 5-2 siguiente.

CUADRO 5-2
PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

												WGS 84				
			Cotas									Centro de Gravedad		Coef.	Rectángulo Equiv.	
Cuenca Nº	Nombre	Área (km2)	Máxima (msnm)	Mínima (msnm)	Media (msnm)	Perímetro (km)	Long. Cauce Ppal. (km)	Ancho Eq. (km)	Pendiente Media Cuenca (1/1)	Pendiente Media Cauce (1/1)	Densidad Drenaje (km/km2)	Norte (m)	Este (m)	Gravelius (1/1)	L (km)	l (km)
1	Laguna del Negro Francisco	905,6	6.044,0	4.128,0	4.551,8	159,7	39,2	23,1	20,5	12,5	0,5	6.957.274	485.022	1,50	67	14
2	Salar de Pedernales	3.596,2	6.088,0	3.336,0	3.994,4	346,7	35,6	101,0	16,2	8,3	0,8	7.070.239	498.819	1,63	151	24
3	Salar de Infieles	305,9	4.999,0	3.516,0	4.038,1	94,5	10,9	28,0	20,7	21,8	0,6	7.128.190	497.549	1,52	40	8
4	Cerro el Encanche	178,4	4.959,0	4.066,0	4.268,7	65,4	12,5	14,3	12,1	19,6	0,7	7.147.524	495.900	1,38	26	7
5	Cerro Blanco	392,1	4.595,0	3.630,0	4.018,0	100,0	17,1	22,9	13,3	28,6	0,7	7.165.039	503.288	1,42	41	10
6	La Laguna	456,7	5.559,0	3.497,0	4.202,9	105,7	14,4	31,6	19,4	16,2	0,7	7.099.809	509.699	1,39	42	11
7	Qda. Los Maranceles	107,0	4.973,0	3.906,0	4.390,3	53,6	17,3	6,2	18,9	38,8	0,6	7.117.285	508.048	1,46	22	5
8	Cerro Conito de los Infiele	75,4	4.947,0	3.990,0	4.285,0	43,5	11,3	6,7	19,7	62,5	1,4	7.131.089	510.905	1,41	18	4
9	Sierra Nevada	163,5	6.133,0	4.630,0	5.104,5	65,4	8,0	20,5	22,9	25,3	1,6	7.061.021	542.369	1,44	27	6
10	Salar de Aguilar	513,5	5.052,0	3.310,0	3.917,5	124,5	15,5	33,0	19,4	78,6	0,5	7.145.903	514.148	1,55	53	10
11	Qda. La Rossa	130,6	5.002,0	4.208,0	4.458,2	77,6	17,8	7,4	14,7	26,0	0,6	7.174.482	535.544	1,92	35	4
12	Wheelwrigth	290,8	6.074,0	4.221,0	4.670,6	79,0	14,0	20,8	22,2	81,4	1,0	7.044.304	537.209	1,31	30	10
13	Laguna Escondida	199,7	6.414,0	4.356,0	4.826,9	65,5	17,0	11,7	23,7	82,1	0,5	7.053.107	552.500	1,31	25	8
14	Laguna Verde	1.003,6	6.868,0	4.330,0	4.914,7	158,7	34,1	29,4	18,6	46,9	0,6	7.020.912	551.414	1,41	64	16
15	Qda. Las Amarillas	181,7	5.890,0	4.541,0	4.881,4	70,7	17,7	10,2	18,5	43,3	0,7	7.041.740	555.340	1,48	29	6
16	Cerro Agua Caliente															
17	Cerro Nevado de Incahuasi															
18	Salar de Piedra Parada	377,5	5.906,0	4.116,0	4.503,1	88,1	13,5	28,0	19,6	27,7	0,7	7.087.515	523.513	1,28	33	11
19	Cerro Agua de Morales	89,6	5.569,0	4.584,0	4.793,6	47,8	14,7	6,1	16,5	31,7	0,6	7.103.825	526.275	1,42	19	5
20	Lagunas del Jilguero	113,5	5.902,0	4.167,0	4.719,4	56,4	12,6	9,0	25,8	90,0	0,7	7.077.609	533.444	1,49	24	5
21	Laguna del Bayo	312,8	6.137,0	4.229,0	4.875,6	83,5	14,7	21,3	20,9	59,3	0,7	7.079.898	546.101	1,33	32	10
22	Qda. El llano	104,7	5.780,0	4.425,0	4.757,7	48,5	14,1	7,4	20,2	26,9	0,7	7.117.164	547.062	1,34	19	6
23	Salar Grande	780,7	5.442,0	3.956,0	4.399,8	157,9	21,3	36,7	15,8	22,9	0,2	7.121.845	527.878	1,59	68	11
24	Qda. la Trinchera	115,0	5.975,0	4.378,0	4.796,5	54,8	20,2	5,7	15,6	25,8	0,6	7.112.981	553.254	1,44	22	5
25	Laguna de las Parinas	95,2	5.768,0	4.284,0	4.664,3	44,7	8,8	10,9	19,3	74,9	0,6	7.109.614	544.814	1,29	17	6
26	Laguna de Colorados	411,4	6.047,0	3.877,0	4.417,6	125,4	13,2	31,2	21,2	68,2	0,6	7.128.313	565.462	1,74	56	7
27	Lagunas Bravas	412,4	6.054,0	4.220,0	4.615,8	115,9	24,4	16,9	18,4	51,6	0,6	7.098.069	544.049	1,61	50	8
28	Salar de Maricunga	2.206,6	6.713,0	3.742,0	4.297,3	290,1	65,4	33,7	18,0	16,9	0,2	7.001.425	497.268	1,74	129	17
29	Qda. Nevados del Jucalitos	916,4	6.734,0	4.345,0	4.911,2	174,0	48,0	19,1	19,3	34,3	0,8	7.017.634	525.007	1,62	76	12
30	Salar de las Parinas	580,1	5.752,0	3.950,0	4.376,7	134,2	17,4	33,3	14,1	26,4	0,6	7.139.941	553.363	1,57	58	10
31	Salar de la Isla	758,4	5.755,0	3.945,0	4.322,7	157,4	18,0	42,1	18,2	42,6	0,5	7.153.905	536.434	1,61	68	11
32	Salar de Gorbea	356,8	5.465,0	3.939,0	4.431,5	96,3	12,1	29,5	19,7	91,4	0,6	7.189.784	537.581	1,44	39	9
33	Salar de la Azufrera	249,5	5.481,0	3.579,0	3.993,3	76,1	12,4	20,1	18,7	36,9	0,8	7.186.062	519.442	1,36	30	8
34	Salar de Agua Amarga	457,8	5.145,0	3.554,0	4.048,1	139,5	18,9	24,2	16,5	26,8	0,7	7.175.810	513.454	1,84	63	7

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

Nota: las cuencas 16 y 17 drenan sus aguas hacia el territorio argentino, por lo que no serán estudiadas.

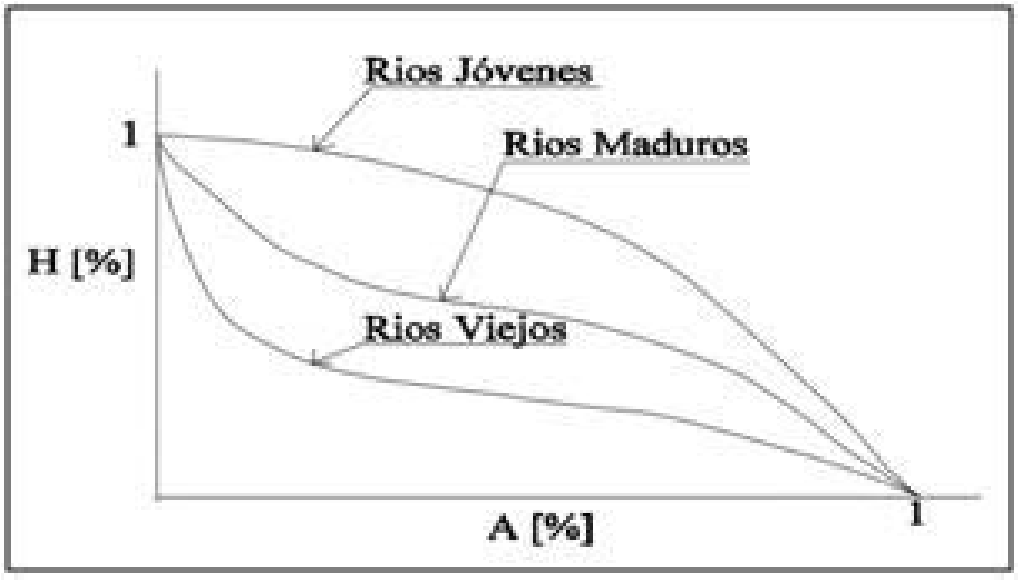
Adicionalmente, se han determinado las curvas hipsométricas de cada una de las 32 cuencas de interés. La curva hipsométrica de una determinada cuenca representa el área drenada variando con la altura la superficie de la cuenca. También representa la variación media del relieve de la hoya.

La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación. Además de presentar la curva hipsométrica, se incluye la correspondiente curva hipsométrica adimensional, usando valores relativos en vez de valores totales (se dividen sus valores por sus respectivos valores máximos).

El gráfico adimensional es útil en la hidrología para estudiar la similitud entre 2 cuencas, cuando ellas presentan variaciones de la precipitación y de la evaporación con la altura, tal como ocurre con las cuencas del presente estudio.

Las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas. En la Figura 5-2 se muestran curvas hipsométricas características, mientras que en el Anexo 5-1 se incluyen las curvas hipsométricas para cada una de las cuencas.

FIGURA 5-2
CURVAS HISPOMÉTRICAS CARACTERÍSTICAS



Fuente: Arthur N. Strahler

6. Estimación Preliminar de la Oferta Hídrica

6.1. Generalidades

La oferta hídrica cuantificada para cada una de las 32 cuencas que se analizan, se traduce básicamente en las precipitaciones medias que caen en cada una de las cuencas.

6.2. Precipitaciones

En la zona específica de interés, es decir, dentro de las cuencas altoandinas que se analizan, no existe ninguna estación pluviométrica. Las estaciones pluviométricas que serán utilizadas para efectos de los análisis de la oferta hídrica son las que se consignan en el Cuadro 6-1 (su ubicación se puede consultar en el Plano 2-1).

CUADRO 6-1
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS QUE SERÁN UTILIZADAS

ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA		COORDENADAS *	
			DESDE	HASTA	Norte	Este
1	02942001-7	AGUAS VERDES	SEP 1987	DIC 2012	7.190.215	403.193
2	03210001-5	LAS VEGAS	ENE 1984	DIC 2012	7.047.991	433.472
3	03340001-2	CALDERA	MAR 1992	DIC 2012	7.004.972	364.277
4	03404002-8	JORQUERA EN LA GUARDIA	OCT 1966	DIC 2012	6.920.561	425.944
5	03414002-2	IGLESIA COLORADA	JUN 1988	NOV 2012	6.883.559	414.717
6	03421004-7	MANFLAS HACIENDA	JUL 1966	DIC 2012	6.887.164	403.233
7	03430006-2	LAUTARO EMB.	MAY 1930	NOV 2012	6.905.614	401.445
8	03430007-0	LOS LOROS	SEP 1967	NOV 2012	6.920.302	391.475
9	03431004-1	ELIBOR CAMPAMENTO	ENE 1978	DIC 2012	6.933.118	379.857
10	03441001-1	PASTOS GRANDES	AGO 1966	DIC 2012	7.001.896	445.281
11	03450004-5	COPIAPÓ	ENE 1971	DIC 2012	6.969.927	367.957
12	DMC	EL SALVADOR	ABR 1963	DIC 2008	7.002.327	445.477
	*	Datum WGS 84				

Fuente: Elaboración propia; CIRH, DGA, MOP

6.2.1. Relleno de Estadísticas

Debido a que en las estadísticas recopiladas faltaban sólo algunos valores, el relleno se hizo a través de los denominados módulos pluviométricos, según el cual en una estación pluviométrica, la relación entre la precipitación P_x desconocida de un mes m y el promedio de las precipitaciones de ese mes, puede ser aproximada a la misma relación

existente en una estación vecina. En el cálculo de los promedios se deben considerar los mismos años.

La relación más general empleada en este método tiene la siguiente forma:

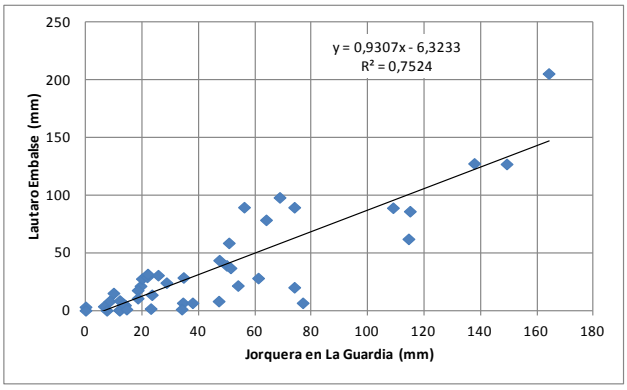
$$\frac{P_x}{M_x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n}\frac{P_i}{M_i} \quad (1)$$

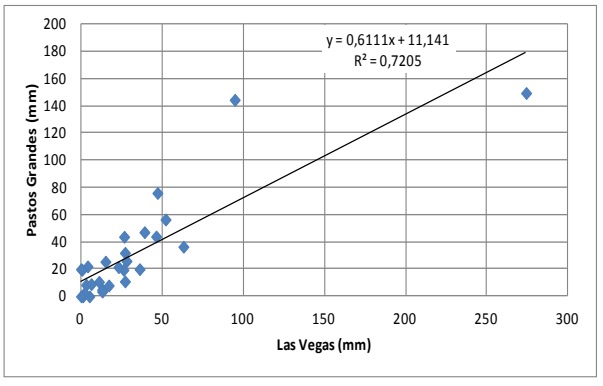
donde:

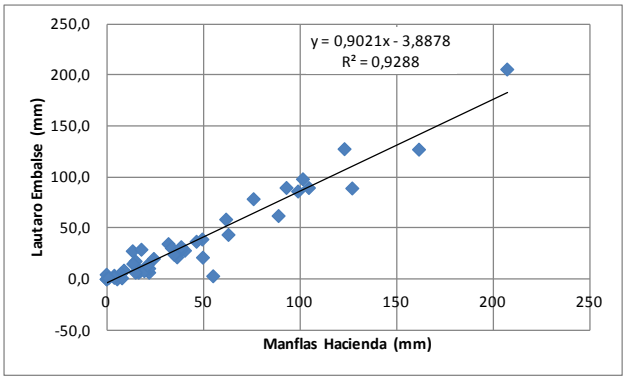
n : Número de estaciones vecinas consideradas
P_x : Precipitación mensual de la estación que se está rellenando
M_x : Promedio de precipitaciones en el mismo mes, de la estación que se está rellenando
P_i : Precipitación mensual de la estación "i"
M_i : Promedio de precipitaciones en el mismo mes, de la estación "i", considerando como años para tal promedio, los mismos considerados para el cálculo de M_x.

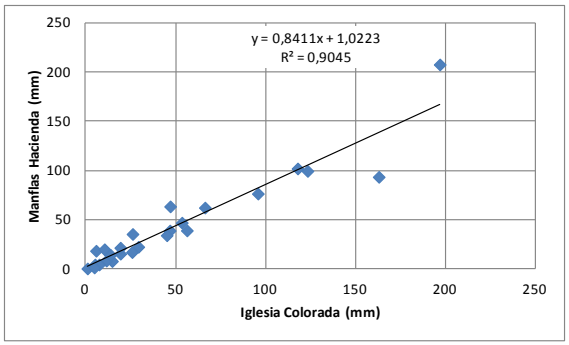
En el Anexo 6-1 se incluyen las estadísticas de pluviometría rellenadas.

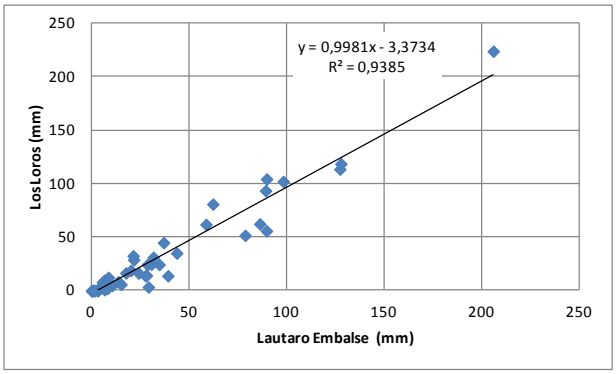
A continuación se muestran gráficos con correlaciones entre las distintas estaciones rellenadas.

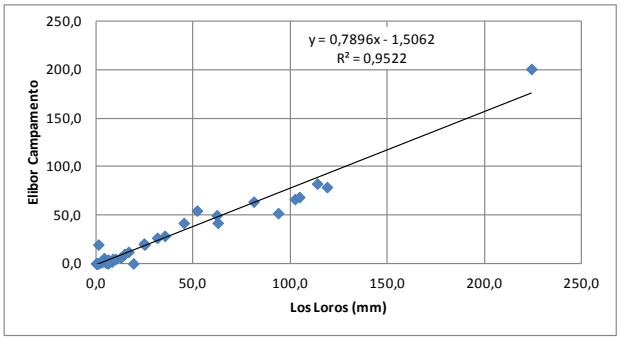


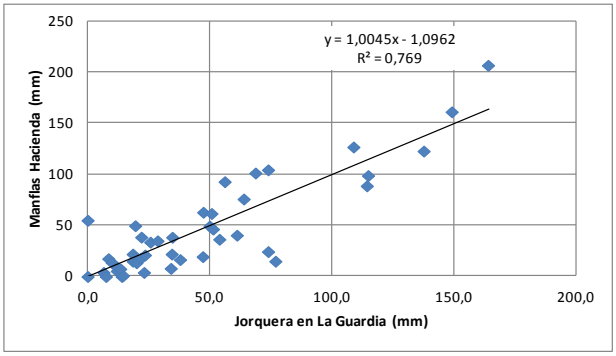


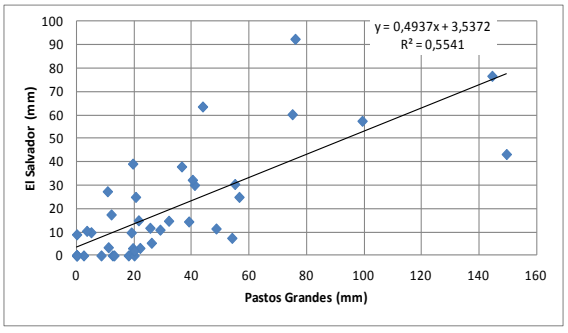

y = 0,9021x - 3,8878
R² = 0,9288
Lautaro Embalse (mm)
Manflas Hacienda (mm)

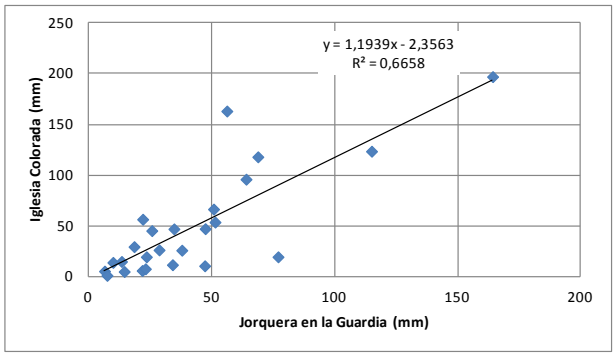

y = 0,8411x + 1,0223
R² = 0,9045
Manflas Hacienda (mm)
Iglesia Colorada (mm)


y = 0,9981x - 3,3734
R² = 0,9385
Los Loros (mm)
Lautaro Embalse (mm)


y = 0,7896x - 1,5062
R² = 0,9522
Elibor Campamento
Los Loros (mm)


y = 1,0045x - 1,0962
R² = 0,769
Manflas Hacienda (mm)
Jorquera en La Guardia (mm)


y = 0,4937x + 3,5372
R² = 0,5541
El Salvador (mm)
Pastos Grandes (mm)

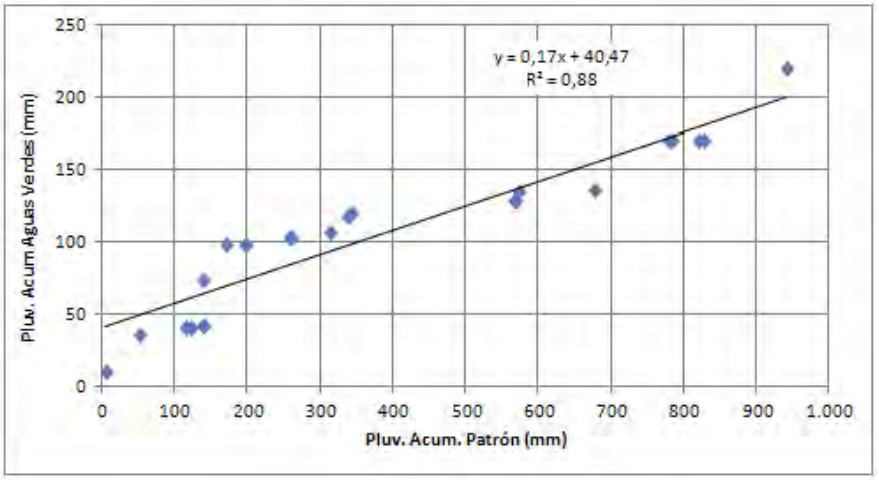

y = 1,1939x - 2,3563
R² = 0,6658
Iglesia Colorada (mm)
Jorquera en la Guardia (mm)

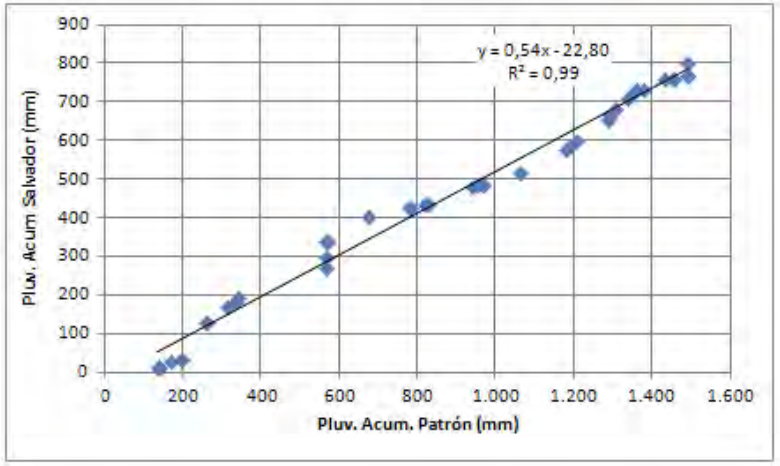
En términos generales, las correlaciones de las precipitaciones anuales son aceptables, excepto la correlación de Pastos Grandes con El Salvador cuyo coeficiente de correlación (R2) es de 0,55.

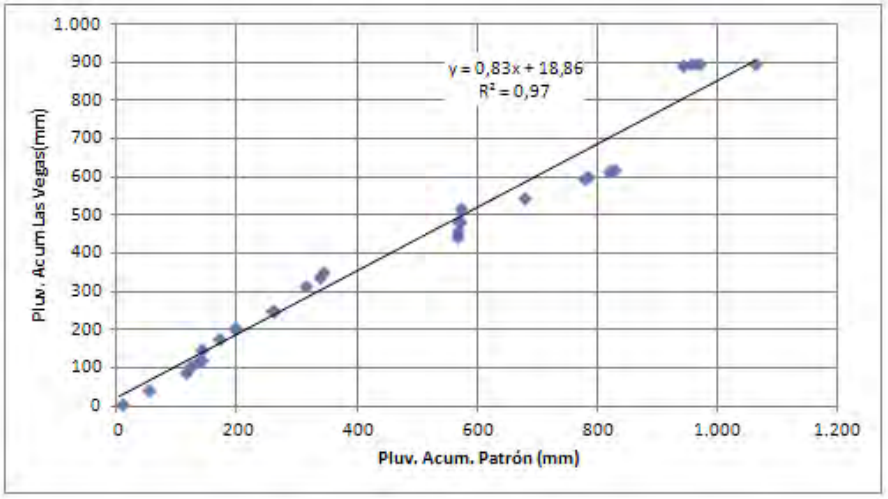
Con los registros anteriores se procedió a seleccionar un patrón de precipitaciones para verificar la homogeneidad de las estadísticas, a través de la elaboración de las Curvas Doble Acumuladas.

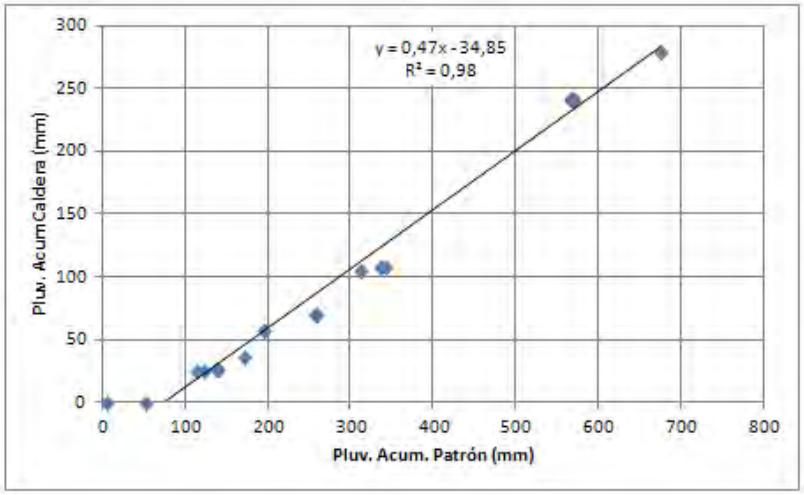
Considerando como parámetros la extensión de las estadísticas medidas así como su calidad, se ha elegido como patrón de precipitaciones de la zona las precipitaciones de la estación Pastos Grandes.

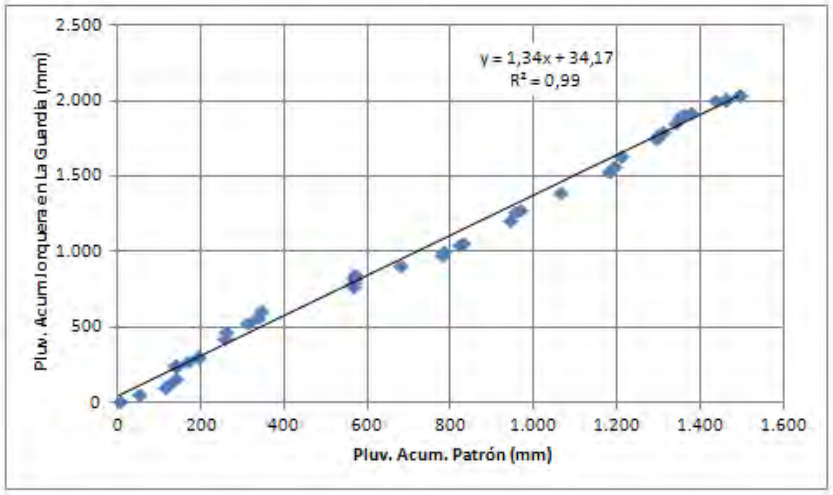
Se han elaborado las Curvas Doble Acumuladas las cuales se presentan a continuación.

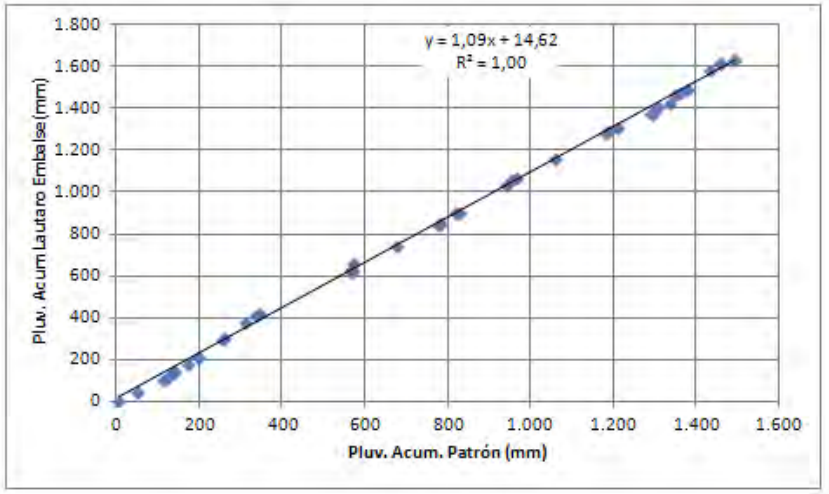

y = 0,17x + 40,47
R² = 0,88
Pluv. Acum Aguas Verdes (mm)
Pluv. Acum. Patrón (mm)
0
50
100
150
200
250
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1.000

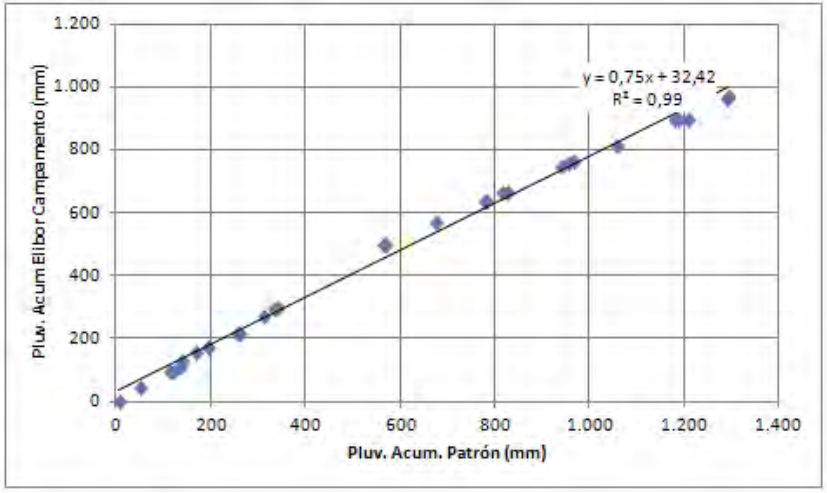

y = 0,54x - 22,80
R² = 0,99
Pluv. Acum Salvador (mm)
Pluv. Acum. Patrón (mm)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
0
200
400
600
800
1.000
1.200
1.400
1.600

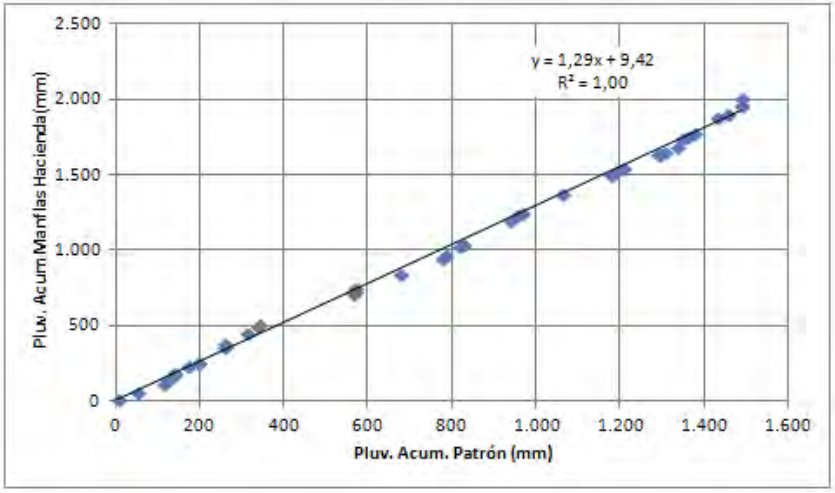

y = 0,83x + 18,86
R² = 0,97
Pluv. Acum Las Vegas(mm)
Pluv. Acum. Patrón (mm)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1.000
0
200
400
600
800
1.000
1.200

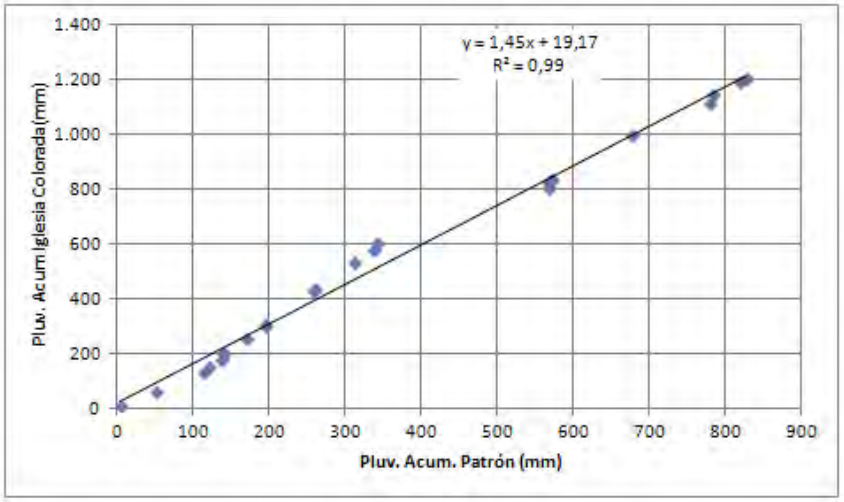

y = 0,47x - 34,85
R² = 0,98
Pluv. Acum Caldera (mm)
Pluv. Acum. Patrón (mm)
0
50
100
150
200
250
300
0
100
200
300
400
500
600
700
800

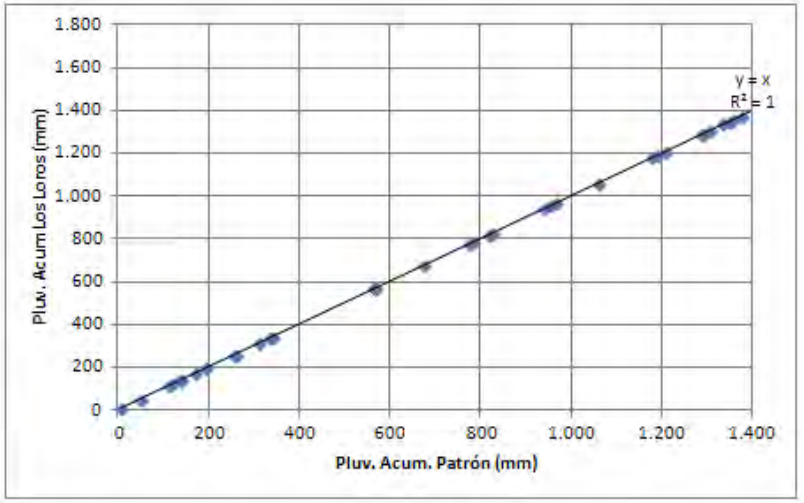

y = 1,34x + 34,17
R² = 0,99
Pluv. Acum Iorquera en La Guarda (mm)
Pluv. Acum. Patrón (mm)
0
500
1.000
1.500
2.000
2.500
0
200
400
600
800
1.000
1.200
1.400
1.600

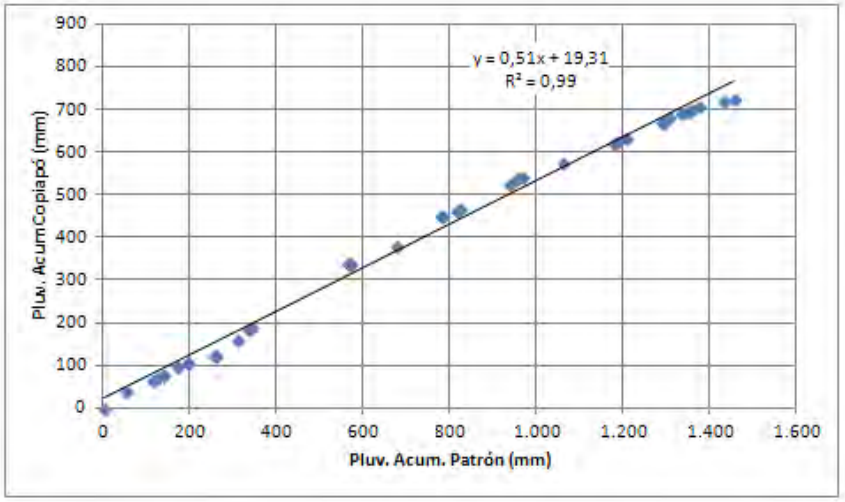

y = 1,09x + 14,62
R² = 1,00
Pluv. Acum Lautaro Embalse (mm)
Pluv. Acum. Patrón (mm)
0
200
400
600
800
1.000
1.200
1.400
1.600
1.800


y = 0,75x + 32,42
R² = 0,99
Pluv. Acum Elibor Campamento (mm)
Pluv. Acum. Patrón (mm)
0
200
400
600
800
1.000
1.200
1.400


y = 1,29x + 9,42
R² = 1,00
Pluv. Acum Manflas Hacienda (mm)
Pluv. Acum. Patrón (mm)
0
500
1.000
1.500
2.000
2.500
0
200
400
600
800
1.000
1.200
1.400
1.600


y = 1,45x + 19,17
R² = 0,99
Pluv. Acum Iglesia Colorada (mm)
Pluv. Acum. Patrón (mm)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
200
400
600
800
1.000
1.200
1.400


y = x
R² = 1
Pluv. Acum Los Loros (mm)
Pluv. Acum. Patrón (mm)
0
200
400
600
800
1.000
1.200
1.400
1.600
1.800


y = 0,51x + 19,31
R² = 0,99
Pluv. Acum Copiapó (mm)
Pluv. Acum. Patrón (mm)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
200
400
600
800
1.000
1.200
1.400
1.600

De acuerdo con los datos graficados, éstos no presentan grandes quiebres o variaciones, lo que significa que los valores medidos, así como los rellenados, no presentan errores sistemáticos y no es necesario realizar alguna corrección adicional. La excepción la constituye la estación Aguas Verdes, ubicada al Este del límite Norte del área de interés; debido a ello, se ha decidido eliminar esa estación para efectos de los análisis posteriores. En los casos de las estaciones Jorquera en La Guardia y Elibor Campamento, observadas en las curvas doble acumuladas se deben principalmente a la distancia entre la estación Patrón (Pastos Grandes) y esas estaciones. Ello se traduce que en años específicos haya una diferencia importante en las precipitaciones. En el caso de Salvador, los cambios de pendiente son más pronunciados, y fundamentalmente se debe a que se trata de una estación DMC. En el Cuadro 6-2 se incluyen las precipitaciones medias anuales definitivas.

CUADRO 6-2
PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES DEFINITIVAS

AÑO	AGUAS VERDES	LAS VEGAS	CALDERA	JORQUERA EN LA GUARDIA	IGLESIA COLORADA	MANFLAS HACIENDA	LAUTARO EMBALSE	LOS LOROS	ELIBOR CAMPAMENTO	PASTOS GRANDES	COPIAPÓ	EL SALVADOR
1963												3,0
1964												0,6
1965												0,0
1966												10,0
1967				0,0		55,1	3,0	0,0		55,0		30,5
1968				0,0		0,0	0,0	0,0		0,0		0,0
1969				19,5		49,8	21,2	32,7		0,0		9,0
1970				12,0			0,5	0,3		12,5		0,0
1971						32,0	34,5	24,5		17,0	5,5	
1972				74,0		104,6	89,4	56,0		41,0	12,5	30,1
1973				18,5		15,0	17,5	16,7		13,0	8,5	0,0
1974				8,5		17,5	8,0	9,2		54,0	2,6	7,5
1975				50,0		49,5	39,0	14,0		39,0	6,0	14,5
1976				54,0		36,5	21,5	29,0		20,5	8,3	25,0
1977				20,0		13,5	27,5	14,0		12,0	12,5	17,5
1978				12,0		5,5	0,0	0,0	0,0	18,0	0,0	0,0
1979				14,0		0,0	4,5	3,9	5,5	29,0	0,5	11,0
1980				114,5		88,9	62,0	81,0	63,9	99,3	36,5	57,5
1981				74,0		24,4	20,0	19,0	0,0	48,5	10,0	11,5
1982				34,5		22,0	6,5	9,8	4,5	19,0	2,1	9,8
1983				137,8		123,0	127,5	118,8	78,9	75,0	45,0	60,3
1984				109,0		127,0	89,0	93,6	52,0	40,3	32,7	32,3
1985		1,0		12,1		9,0	8,5	12,5	6,0	0,0	6,2	0,2
1986		4,0		61,2		40,5	28,0	14,5	9,8	22,0	10,4	3,2
1987	50,1	274,0		149,3		161,5	127,0	113,7	82,5	149,5	61,1	43,3
1988	0,0	5,1		13,4	14,9	7,5	5,5	8,0	2,0	0,0	2,5	0,0
1989	0,0	13,0		47,4	47,2	63,0	43,5	35,2	28,5	5,0	14,4	9,9
1990	0,0	3,1		18,5	29,5	22,0	10,5	5,0	0,5	8,5	0,0	0,0
1991	33,6	52,0		68,8	118,0	101,5	98,0	102,2	66,5	56,5	67,7	25,0
1992	2,0	26,5	37,6	56,2	163,1	93,0	89,5	104,5	68,6	43,8	42,0	63,6
1993	6,4	36,0	0,0	21,8	6,0	18,0	29,0	3,5	2,0	20,0	0,5	0,0
1994	0,0	2,0	0,0	6,5	5,4	4,0	3,5	1,0	0,0	2,4	0,0	0,0
1995	0,0	26,1	0,0	34,1	11,7	8,0	1,0	0,5	0,0	19,5	1,5	39,2
1996	0,0	11,0	0,0	23,1	7,7	4,0	1,5	0,0	0,0	10,7	0,0	27,4
1997	7,5	94,6	133,5	164,2	197,0	207,1	205,5	224,0	201,0	144,5	149,7	76,7
1998	3,5	15,0	0,5	37,9	26,0	16,6	6,5	6,0	4,0	25,5	2,7	11,8
1999	10,5	23,0	2,9	34,7	47,0	38,5	28,5	24,5	20,5	21,5	25,0	15,0
2000	3,0	63,0	34,0	64,0	96,0	76,0	78,5	51,8	54,6	36,5	36,0	38,0
2001	0,0	0,5	0,0	47,2	10,7	19,5	8,0	2,2	1,0	19,5	0,0	3,1
2002	5,5	47,0	13,0	115,0	123,5	99,0	86,0	62,5	42,0	76,0	17,8	92,5
2003	0,0	0,0	0,0	7,5	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0
2004	0,0	27,0	21,0	25,7	45,3	33,7	30,5	24,8	19,5	11,0	8,9	3,5
2005	24,0	27,0	10,0	22,0	56,5	38,6	31,5	31,3	26,5	32,0	18,7	14,8
2006	31,5	28,0	0,0	14,5	5,0	1,0	1,0	0,0	0,0	26,0	0,0	5,4
2007	1,0	0,0	0,0	77,0	19,5	15,0	6,5	1,0	19,5	20,0	0,5	2,0
2008	1,0	13,0	2,0	28,7	26,3	35,0	24,0	16,5	12,0	3,5	9,5	10,5
2009	0,0	17,0	0,0	23,5	19,5	21,1	13,5	8,5	4,7	8,0	4,3	
2010	5,0	46,2	24,5	50,8	66,5	61,8	58,5	62,0	49,8	44,0	22,1	
2011	25,5	39,0	0,0	51,4	53,7	46,5	36,8	45,0	41,8	47,2	42,3	
2012	10,5	6,2	0,0	9,9	14,0	13,8	15,0	6,0	0,0	9,0	0,5	
Promedio	8,5	32,2	13,3	45,3	48,4	44,9	35,8	32,4	27,7	31,6	17,3	18,1

Año eliminado por valor dudoso en Julio de 1984 (338,2 mm)
Año eliminado por haber muy pocos datos mensuales

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

6.2.2. Generación de Precipitaciones Medias en Cada Cuenca

Para estimar las precipitaciones anuales promedio asociadas a la superficie de cada cuenca, se ha utilizado el programa ArcGis 9.3 de Esri, donde, con la herramienta "Topo to Raster", es factible generar un raster o manto de precipitaciones anuales promedio que cae sobre una determinada cuenca de interés.

El manto se obtiene a través de la interpolación de los valores de las isoyetas medias anuales que aparecen en el denominado "Balance Hídrico, DGA", con el apoyo de las precipitaciones medias anuales de las estaciones pluviométricas cercanas al área de interés.

Luego, utilizando la herramienta "Zonal Statistics" del conjunto "Spatial Analyst" de ArcGis, se obtiene el valor representativo de la precipitación anual promedio en cada cuenca. Con dicha herramienta es factible obtener el promedio de las precipitaciones de interés, al considerar los valores de cada celda del raster que se encuentre dentro de una cuenca específica. Es decir, se intercepta el manto de precipitaciones, con cada una de las cuencas y se promedia el valor de precipitación de cada celda del raster, que está contenida dentro de cada cuenca.

Para la determinación de las precipitaciones medias mensuales representativas de cada cuenca, se interpola un valor de lluvia proporcional a las precipitaciones de las 8 estaciones j más cercanas al centro de gravedad de cada cuenca. El peso de cada estación es el promedio ponderado $\alpha_{ij'}$, el cual se determina en función del inverso de las distancias al cuadrado entre las respectivas estaciones y los centros de gravedad de las cuencas.

Una vez calculado este coeficiente $\alpha_{ij'}$, que constituye una primera aproximación del cálculo de dicho coeficiente, se realiza una corrección imponiendo que la precipitación anual obtenida para cada cuenca sea igual a la precipitación anual obtenida a partir del manto de precipitaciones. Con ese coeficiente corregido $\alpha_{ij,}$ se calcula el valor de las precipitaciones mensuales promedio para cada cuenca, a través de la sumatoria de la multiplicación de los coeficientes α_{ij} y las precipitaciones mensuales de cada una de las 8 estaciones pluviométricas más cercanas escogidas.

En el Anexo 6-2 se incluye un detalle de la metodología antes explicada.

En el Cuadro 6-3 se incluyen las precipitaciones medias mensuales y anuales generadas en cada una de las cuencas a través del procedimiento

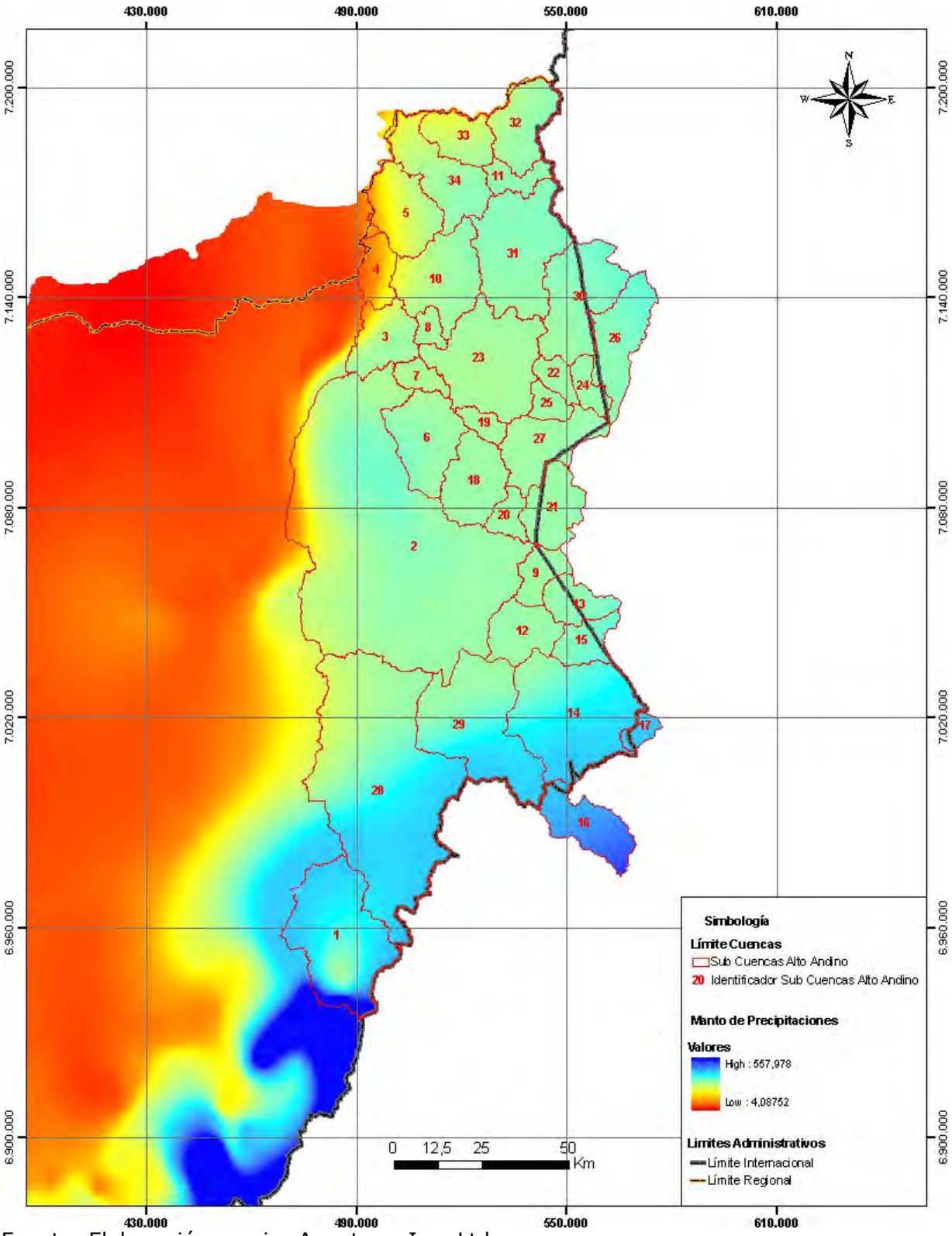
antes indicado; se adjunta además una figura con el manto de precipitaciones generadas.

CUADRO 6-3
PRECIPITACIONES MEDIAS GENERADAS
EN CUENCAS DE INTERÉS (mm)

Nº	Cuenca	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
1	Laguna del Negro Francisco	0,4	4,4	11,7	11,1	28,1	48,1	49,3	30,3	8,9	3,0	0,2	0,9	196,5
2	Salar de Pedernales	0,1	3,5	8,1	5,6	16,9	27,5	58,2	17,0	6,4	1,4	0,1	0,3	145,0
3	Salar de Infieles	0,1	3,2	6,8	5,4	16,0	26,3	50,0	16,5	5,8	1,3	0,1	0,3	131,8
4	Cerro el Encanche	0,0	1,5	3,1	2,7	7,6	12,8	22,5	8,1	2,8	0,6	0,1	0,1	62,0
5	Cerro Blanco	0,1	2,8	5,7	5,6	13,1	24,2	38,7	15,9	4,4	1,1	0,1	0,3	111,9
6	La Laguna	0,1	3,8	8,4	6,0	18,4	29,8	59,3	18,6	6,8	1,6	0,1	0,3	153,1
7	Qda. Los Maranceles	0,1	3,5	7,7	5,8	17,5	28,6	55,0	17,9	6,4	1,5	0,1	0,3	144,5
8	Cerro Conito de los Infieles	0,1	3,6	7,7	6,1	18,0	29,9	54,7	18,8	6,5	1,5	0,1	0,3	147,4
9	Sierra Nevada	0,2	3,7	8,8	6,7	18,1	32,3	52,6	20,7	6,5	1,7	0,1	0,5	152,0
10	Salar de Aguilar	2,1	5,5	8,9	6,2	17,1	27,5	49,0	17,0	6,4	1,5	0,1	0,4	141,7
11	Qda. La Rossa	0,2	3,7	8,1	7,6	18,3	34,0	52,4	22,2	6,2	1,6	0,1	0,4	154,8
12	Wheelwrigth	0,2	3,8	9,0	6,8	18,3	32,6	51,9	20,9	6,7	1,8	0,1	0,5	152,4
13	Laguna Escondida	0,2	3,8	9,1	7,1	18,9	34,0	52,9	21,8	6,8	1,8	0,1	0,5	156,9
14	Laguna Verde	0,2	4,0	10,7	8,9	25,0	42,4	57,1	26,0	8,0	2,3	0,1	0,7	185,4
15	Qda. Las Amarillas	0,2	3,5	9,4	7,7	21,9	36,9	52,4	22,7	7,0	1,9	0,1	0,6	164,2
16	Cerro Agua Caliente	0,4	4,5	12,5	11,9	31,6	53,1	64,0	33,5	9,4	3,0	0,2	0,9	224,8
17	Cerro Nevado de Incahuasi	0,3	4,2	11,6	10,0	27,9	47,5	61,3	29,2	8,6	2,5	0,2	0,8	203,9
18	Salar de Piedra Parada	0,1	3,6	8,4	6,3	17,9	30,3	57,0	18,8	6,8	1,6	0,1	0,4	151,2
19	Cerro Agua de Morales	0,1	3,5	8,1	6,2	17,5	30,0	55,3	18,6	6,6	1,6	0,1	0,4	148,0
20	Lagunas del Jilguero	0,1	3,7	8,6	6,4	18,0	30,9	55,6	19,2	6,9	1,7	0,1	0,4	151,5
21	Laguna del Bayo	0,1	3,7	8,6	6,5	18,1	31,6	54,5	19,7	6,9	1,7	0,1	0,4	152,0
22	Qda. El llano	0,1	3,5	8,2	6,6	18,0	31,5	54,0	19,6	6,8	1,6	0,1	0,4	150,4
23	Salar Grande	0,1	3,6	7,9	6,1	18,0	30,0	53,9	18,8	6,6	1,6	0,1	0,3	147,1
24	Qda. la Trinchera	0,1	3,6	8,3	6,7	18,3	32,3	54,3	20,1	6,9	1,7	0,1	0,4	152,9
25	Laguna de las Parinas	0,1	3,6	8,3	6,6	18,1	31,5	54,6	19,6	6,8	1,6	0,1	0,4	151,1
26	Laguna de Colorados	0,2	3,8	8,8	7,4	19,2	35,1	55,0	22,7	6,6	1,7	0,1	0,5	161,2
27	Lagunas Bravas	0,1	3,6	8,3	6,5	17,9	31,1	54,4	19,4	6,8	1,7	0,1	0,4	150,3
28	Salar de Maricunga	0,2	4,6	11,1	8,3	22,6	38,7	50,9	23,8	8,3	2,4	0,1	0,7	171,7
29	Piedra Pómez	0,2	4,1	10,4	8,2	23,1	39,0	54,5	24,0	7,7	2,2	0,1	0,6	174,1
30	Salar de las Parinas	0,2	3,7	8,6	7,3	18,7	34,2	54,3	22,2	6,4	1,7	0,1	0,4	157,9
31	Salar de la Isla	0,2	3,8	8,4	7,4	18,5	33,9	54,3	22,1	6,3	1,6	0,1	0,4	157,0
32	Salar de Gorbea	0,2	3,6	7,7	7,4	17,5	32,9	49,3	21,6	5,9	1,5	0,1	0,4	148,0
33	Salar de la Azufrera	0,1	3,2	6,6	6,6	15,2	28,5	43,1	18,8	5,1	1,3	0,1	0,3	128,8
34	Salar de Agua Amarga	0,1	3,5	7,2	7,0	16,5	30,7	47,6	20,2	5,5	1,4	0,1	0,4	140,2

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

MANTO DE PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES (mm/año)



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

6.3. Oferta Hídrica

6.3.1. Metodología utilizada

En un escenario de largo plazo, en el que es correcto considerar una condición de equilibrio entre los volúmenes de agua afluentes y efluentes en una determinada cuenca, se puede establecer la siguiente relación:

$$P = ET + Ev + Es + Per \quad (1)$$

donde **P** corresponde a la precipitación, **Ev** es la evaporación desde superficies de agua, **ET** es la evapotranspiración, **Es** es la escorrentía superficial y **Per** es la Percolación, todos expresados como volúmenes medios anuales.

La Oferta Hídrica **O** corresponde a aquella parte de los recursos hídricos que están disponibles para ser utilizados, que corresponde en consecuencia a la suma de la escorrentía superficial y la percolación, es decir:

$$O = Es + Per = P - ET - Ev \quad (2)$$

En esta expresión, los términos **Es** y **P** son los que en general pueden ser cuantificados a partir de datos estadísticos existentes y metodologías adecuadas. En tanto, los términos **Per, ET, y Ev** sólo pueden ser calculados en forma aproximada, mediante procedimientos indirectos y aproximaciones sucesivas.

En el caso particular de la zona de estudio, donde las precipitaciones son esporádicas y escasas, parece ser adecuado plantear que tanto la percolación, la evapotranspiración como la evaporación, se producen esencialmente en las áreas de rellenos sedimentarios, que reciben los aportes de las zonas montañosas.

Efectivamente, la precipitación pluvial al caer sobre las montañas escurre con rapidez hasta llegar a la zona de valle, donde sigue su curso por un cauce superficial, queda en superficie o subsuperficie disponible para evapotranspirar o evaporar, o bien se infiltra en forma más profunda donde escurre a través de los acuíferos existentes.

La precipitación nival, en tanto, queda retenida en la montaña, hasta que el derretimiento genera la escorrentía superficial, que tiene el mismo

destino que el agua pluvial. Antes de derretirse, la nieve queda expuesta a evaporación directa.

De esta manera, la percolación, la evapotranspiración y la evaporación, se producen en general en un área reducida de la cuenca, no obstante que los volúmenes de agua involucrados en estos procesos sean importantes. Este hecho, disminuye en alguna medida la complejidad del cálculo de estos volúmenes de agua, pues la variabilidad espacial de los procesos queda más acotada, al ser menor el área en que ellos se producen.

En esta primera etapa, sin embargo, el valor de la oferta hídrica será determinado exclusivamente por la escorrentía superficial **Es**. Se hablará, en consecuencia, de una ***Oferta Mínima***, ya que no se considerará la oferta subterránea, representada por el término **Per** de la ecuación (2).

a) Cálculo de la Escorrentía Superficial Es

Si se considera un año hidrológico i cualquiera, entre los meses de Abril y Marzo de años de calendario sucesivos, se puede plantear la siguiente ecuación para el cálculo del caudal medio anual de salida Qi de una cuenca:

$$Q = a \cdot Q\ mar(i-1) + b \cdot\ Pi \qquad (3)$$

donde Q mar (i-1) es el caudal medio mensual del mes de Marzo del año hidrológico (i-1) y Pi es la precipitación media anual en la cuenca, en el año i. Los coeficientes a y b se deben determinar a partir de estadísticas observadas.

Por otra parte, se puede establecer:

$$Q\ mar\ i = c \cdot Q\ mar(i-1) + d \cdot\ Pi \qquad (4)$$

con las mismas definiciones anteriores, y los coeficientes c y d por determinar.

Incorporando una suma sobre i, y dividiendo por n= número de años suficientemente grande, en las expresiones anteriores, se tiene:

$$\bar{Q} = a \cdot \bar{Q}\ mar + b \cdot\ \bar{P} \qquad (5)$$

$$\bar{Q}mar = c \cdot \bar{Q}\ mar + d \cdot\ \bar{P} \quad (6)$$

Así, de la expresión (6) se obtiene:

$$\bar{Q}mar = (\frac{d}{1-c}) \cdot\ \bar{P} \quad (7)$$

que al ser introducida en la expresión (5), permite obtener:

$$\bar{Q} = \left(a \cdot \frac{d}{1-c}\right) \cdot\ \bar{P} + b \cdot \bar{P} \quad (8)$$

El primer término del lado derecho de esta expresión representa el flujo base promedio, y el segundo término representa la escorrentía directa promedio.

Finalmente, se obtiene:

$$\boldsymbol{\bar{Q} = \left(a \cdot \frac{d}{1-c} + b\right) \cdot\ \bar{P}} \quad (9)$$

Esta es la relación que se utilizará para generar la escorrentía superficial en las cuencas alto andinas del área de estudio, la cual debe ser calibrada con las estaciones pluviométricas y fluviométricas existentes.

En resumen, e incorporando la superficie de la cuenca SUP en las relaciones anteriores, se tienen entonces las siguientes expresiones, para el cálculo de la escorrentía superficial media anual Q:

$$\bar{Q}\ base = A \cdot \bar{P} \cdot SUP, con\ A = \left(a \cdot \frac{d}{1-c}\right) \frac{1}{SUP} \quad (10)$$

$$\bar{Q}\ directa = B \cdot \bar{P} \cdot SUP, con\ B = \frac{b}{SUP} \quad (11)$$

$$Q = \bar{Q}base + \bar{Q}\ directa = C \cdot \bar{P} \cdot SUP, con\ C = A + B \quad (12)$$

donde A y B representan ahora coeficientes de escorrentía, asociados al flujo base y a la escorrentía directa, respectivamente, y C el coeficiente de escorrentía asociado a la escorrentía total. Q está expresado en m3/s, P está expresado en (m/Nº seg en el año) y SUP en (m2).

Tanto el flujo base, como la escorrentía directa, así como el caudal total, pueden ser expresados en función de la precipitación media en la cuenca, que puede ser tanto una precipitación promedio en n años, como una precipitación para diferentes probabilidades de excedencia.

Así, asumiendo que la probabilidad de excedencia de precipitaciones y caudales superficiales son las mismas para un año dado, se puede calcular el flujo base, la escorrentía directa y el caudal total, para diferentes probabilidades de excedencia.

6.3.2. Calibración de la Relación Precipitación-Escorrentía

Para determinar los coeficientes de la relación Precipitación-Escorrentía antes señalada, se seleccionaron las estaciones pluviométricas y fluviométricas existentes en el área de estudio, consignadas en los Cuadros 6-4 y 6-5, y en la Figura 6-1. Hay que destacar que las estaciones Conay, Los Tambos y El Corral se localizan en la cuenca del río Huasco, al Sur de la zona de interés, y sólo se han considerado para efectos del presente análisis de calibración (no se rellenaron).

El criterio de selección apunta fundamentalmente a la cercanía entre las parejas de estaciones pluviométricas y fluviométricas utilizadas, así como la extensión, mínima cantidad de vacíos y confiabilidad de las estadísticas mensuales recopiladas.

Adicionalmente, en el Cuadro 6-6 se presentan los parámetros geomorfológicos relevantes de las cuencas que fueron usadas para la calibración.

CUADRO 6-4
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS

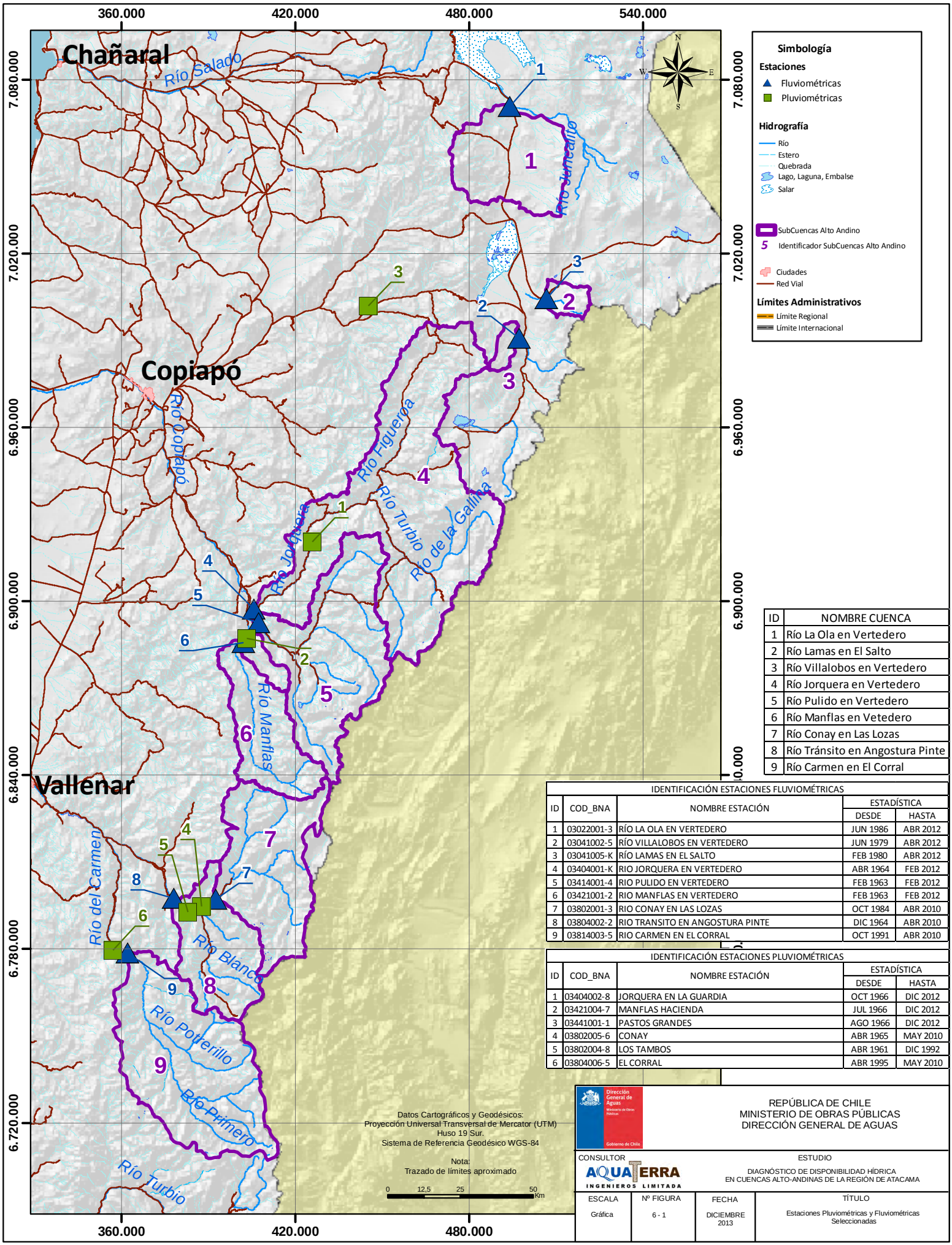
Estación	Coordenadas UTM		Altitud	Período
	WGS 84 (m)		(msnm)	
	Este	Norte		
Pastos Grandes	445477	7002327	2417	1968-2012
Manflas Hacienda	403428	6887592	1546	1966-2012
Jorquera en la Guardia	426140	6920990	2195	1967-2012
Conay	387629	6794190	1782	1965-2010
Los Tambos	384253	6793418	1710	1961-1992
El Corral	365971	6775857	2076	1995-2010

Fuente: Elaboración propia; CIRH, DGA, MOP

CUADRO 6-5
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS

Estación	Coordenadas UTM		Altitud	Período
	WGS 84 (m)		(msnm)	
	Este	Norte		
Río La Ola en Vertedero	494019	7071024	3574	1986-2012
Río Lamas en El Salto	506885	7004661	4279	1980-2012
Río Villalobos en Vertedero	497523	6991094	4025	1979-2012
Río Jorquera en Vertedero	405969	6897615	1227	1964-2012
Río Pulido en Vertedero	407562	6892888	1228	1964-2012
Río Manflas en Vertedero	402405	6885984	1471	1964-2012
Río Conay en Las Lozas	392481	6797102	1550	1984-2010
Río Tránsito en Angostura Pinte	378360	6797821	1000	1963-2010
Río Carmen en El Corral	362419	6779017	2000	1991-2010

Fuente: Elaboración propia; CIRH, DGA, MOP



ID	NOMBRE CUENCA
1	Río La Ola en Vertedero
2	Río Lamas en El Salto
3	Río Villalobos en Vertedero
4	Río Jorquera en Vertedero
5	Río Pulido en Vertedero
6	Río Manflas en Vetedero
7	Río Conay en Las Lozas
8	Río Tránsito en Angostura Pinte
9	Río Carmen en El Corral

IDENTIFICACIÓN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA	
			DESDE	HASTA
1	03022001-3	RÍO LA OLA EN VERTEDERO	JUN 1986	ABR 2012
2	03041002-5	RÍO VILLALOBOS EN VERTEDERO	JUN 1979	ABR 2012
3	03041005-K	RÍO LAMAS EN EL SALTO	FEB 1980	ABR 2012
4	03404001-K	RIO JORQUERA EN VERTEDERO	ABR 1964	FEB 2012
5	03414001-4	RIO PULIDO EN VERTEDERO	FEB 1963	FEB 2012
6	03421001-2	RIO MANFLAS EN VERTEDERO	FEB 1963	FEB 2012
7	03802001-3	RIO CONAY EN LAS LOZAS	OCT 1984	ABR 2010
8	03804002-2	RIO TRANSITO EN ANGOSTURA PINTE	DIC 1964	ABR 2010
9	03814003-5	RIO CARMEN EN EL CORRAL	OCT 1991	ABR 2010

IDENTIFICACIÓN ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

ID	COD_BNA	NOMBRE ESTACIÓN	ESTADÍSTICA	
			DESDE	HASTA
1	03404002-8	JORQUERA EN LA GUARDIA	OCT 1966	DIC 2012
2	03421004-7	MANFLAS HACIENDA	JUL 1966	DIC 2012
3	03441001-1	PASTOS GRANDES	AGO 1966	DIC 2012
4	03802005-6	CONAY	ABR 1965	MAY 2010
5	03802004-8	LOS TAMBOS	ABR 1961	DIC 1992
6	03804006-5	EL CORRAL	ABR 1995	MAY 2010

Datos Cartográficos y Geodésicos:
Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
Huso 19 Sur.
Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

Nota:
Trazado de límites aproximado

0 12,5 25 50 Km

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	6 - 1	DICIEMBRE 2013	Estaciones Pluviométricas y Fluviométricas Seleccionadas

CUADRO 6-6
PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS UTILIZADOS

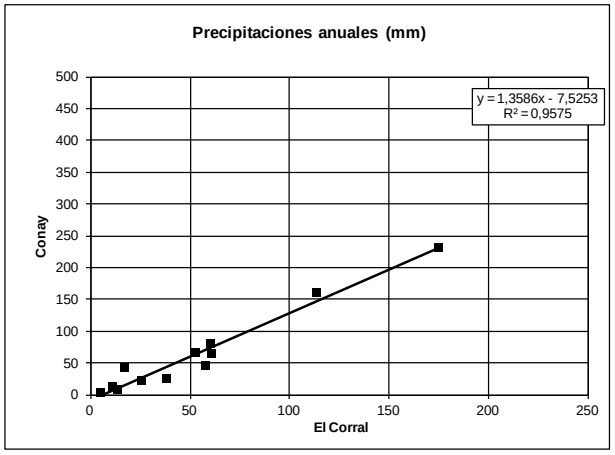
Cuenca	Area	L	M	F	Cota máxima	Cota mínima	Cota media
	(km2)	(km)	(km)		(msnm)	(msnm)	(msnm)
Río La Ola en Vertedero	1154	47,8	24,2	0,505	5306	3574	4038
Río Lamas en El Salto	151	17,0	8,9	0,522	6712	4279	4973
Río Villalobos en Vertedero	98	16,1	6,1	0,378	6046	4025	4416
Río Jorquera en Vertedero	4185	130,6	32,0	0,245	5984	1227	3798
Río Pulido en Vertedero	2048	67,9	30,2	0,444	5787	1228	3553
Rio Manflas en Vertedero	981	62,8	15,6	0,249	5671	1471	3571
Río Conay en Las Lozas	1608	47,0	34,2	0,728	5419	1550	3480
Río Tránsito en Angostura Pinte	2666	60,0	43,0	0,694	5501	1000	3250
Río El Carmen en El Corral	2428	60,0	40,5	0,675	5237	2000	3619

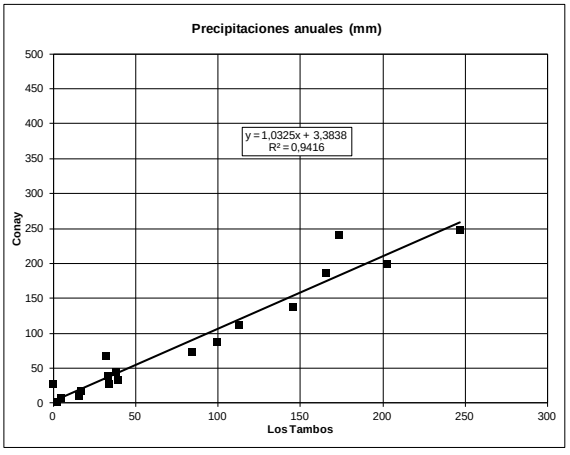
L = Long cauce principal; M = Ancho Equivalente = Area/L; F = Factor de Forma = M/L

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

a) Análisis de las estadísticas utilizadas

Para analizar la confiabilidad de los datos utilizados, se procedió en primer término a correlacionar entre sí las estadísticas de precipitaciones anuales de las estaciones utilizadas. Se pudo comprobar que los datos presentan buenos ajustes a las rectas de correlación, con valores de R^2 superiores a 0,75. Se incluyen a continuación las correlaciones entre las estaciones Conay, Los Tambos y El Corral (el resto de las correlaciones se incluyeron en capítulos anteriores).





También se revisaron las estadísticas de caudales medios mensuales en las estaciones seleccionadas. Se comprobó que las estaciones de la cuenca del río Copiapó, ubicadas en río Jorquera, en río Pulido y río Manflas, tienen en general buenas correlaciones entre sí.

Las estaciones de la cuenca del río Huasco: Río Conay en Las Lozas, Río Tránsito en Angostura Pinte y Río El Carmen en El Corral, también presentan buenas correlaciones.

Por su parte, si bien las estaciones Río La Ola en Vertedero, Río Lamas en El Salto y Río Villalobos en Vertedero, no presentan buenas correlaciones entre sí y con el resto de las estaciones, no se detectan puntos disparados de la tendencia general.

En el Anexo 4-1 se presentan las estadísticas pluviométricas y fluviométricas originales, y en el Anexo 6-3 se incluyen las correlaciones de los caudales realizadas.

b) Correlaciones Precipitación-Escorrentía

Se correlacionaron los datos existentes, considerando las relaciones (3) y (4) antes señaladas, es decir:

$$Qi = a \cdot Q\ mar(i-1) + b \cdot\ Pi \qquad (3)$$

$$Q\ mar\ i = c \cdot Q\ mar(i-1) + d \cdot\ Pi \qquad (4)$$

Donde Qi son los caudales medios anuales observados, Pi son las precipitaciones anuales observadas, y Qmar i son los caudales medios mensuales observados, considerando cada año i, de los n años de estadística.

Debido a que los Pi deben ser los valores medios de la cuenca, cada precipitación anual de la estadística utilizada debe ser multiplicada por el factor R = P medio cuenca/ P medio estadística.

Es importante destacar que las precipitaciones medias anuales de cada cuenca, se determinaron a través del procedimiento explicado en capítulos anteriores (manto de precipitaciones medias a través de isoyetas utilizando las herramientas del Arc Gis).

Para obtener los coeficientes de las relaciones anteriores, las estaciones fluviométricas Río La Ola en Vertedero, Río Lamas en El Salto y Río Villalobos en Vertedero se correlacionaron con la estación pluviométrica Pastos Grandes. En tanto, las estaciones fluviométricas Río Jorquera en Vertedero, Río Pulido en Vertedero y Río Manflas en Vertedero se correlacionaron con la estación pluviométrica Manflas Hacienda. Las

estaciones Río Conay en Las Lozas, Río Tránsito en Angostura Pinte y Río Carmen en El Corral, se correlacionaron con la estación pluviométrica Conay.

En las nueve correlaciones realizadas, la recta de regresión muestra una diferencia máxima del 11% entre los valores simulados y los observados, la cual se presenta en Río Manflas en Vertedero. En tanto, en las estaciones Río La Ola en Vertedero y Río Lamas en El Salto, si bien se observa una dispersión significativa en los puntos obtenidos, la recta ajustada representa adecuadamente la tendencia central de éstos.

Cabe destacar el buen resultado obtenido en la estación Río Villalobos en Vertedero, con una dispersión poco significativa en los puntos y una recta de regresión que presenta una diferencia menor al 4% entre los caudales simulados y los observados. En la Figura 6-2, se presentan los resultados obtenidos.

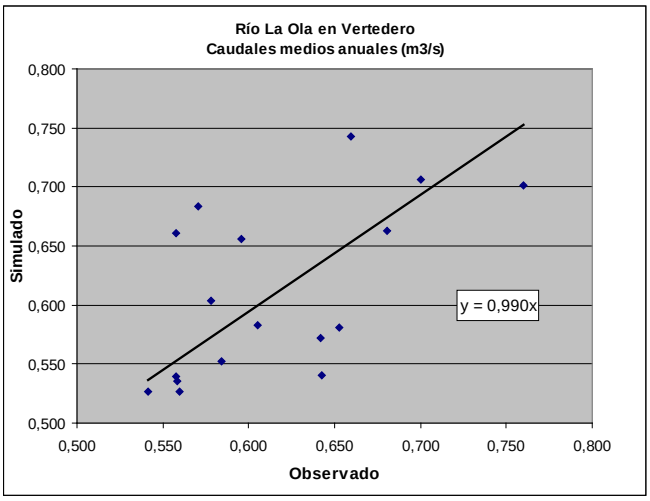
Luego, a partir de los coeficientes a, b, c y d obtenidos de cada correlación, y las superficies de cada cuenca, se calcularon los valores de A, B y C, definidos en las relaciones (10), (11) y (12), que se presentan en el Cuadro 6-7.

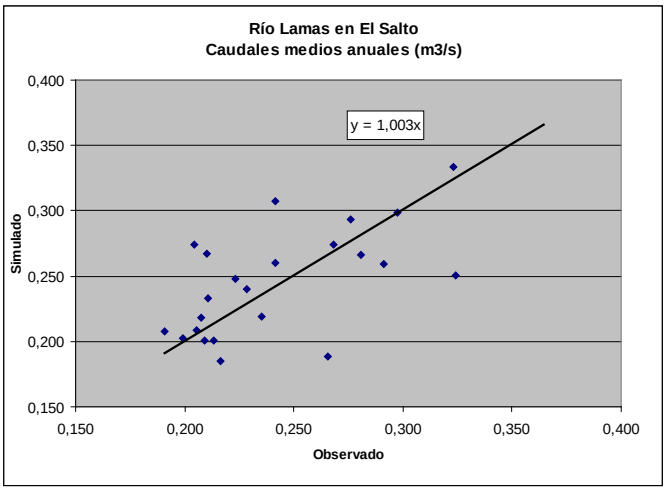
Estos resultados muestran un coeficiente de escorrentía total C variable entre 2,6% y 18,8%.

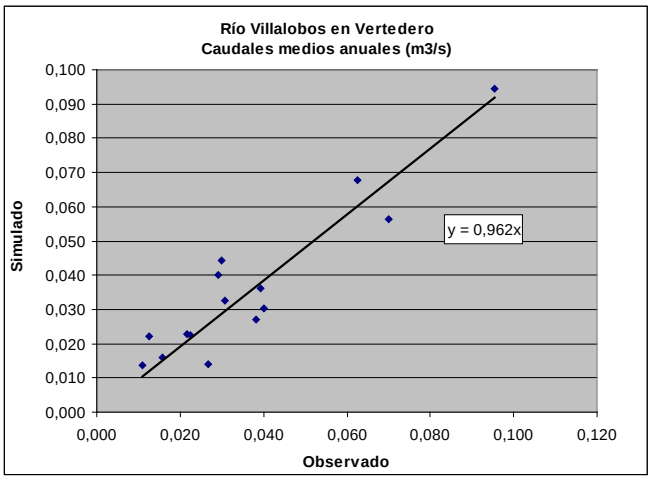
Por otro lado, al analizar la forma de las cuencas aportantes, en la Figura 6-1 anterior, se puede ver que en aquellas cuencas más alargadas, este coeficiente es menor, como sucede especialmente en el caso de la cuenca de Río Jorquera en Vertedero. Esto puede deberse a que al ser el recorrido del agua de mayor longitud, las pérdidas por infiltración y evaporación son mayores.

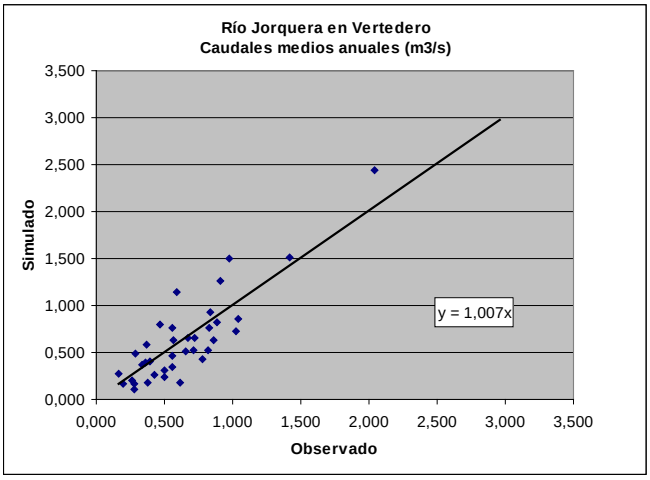
Para representar adecuadamente este hecho, se correlacionó el coeficiente de escorrentía C de cada cuenca, con el factor de forma F respectivo, que es uno de los parámetros geomorfológicos del Cuadro 6-8. La relación obtenida se presenta en la Figura 6-3.

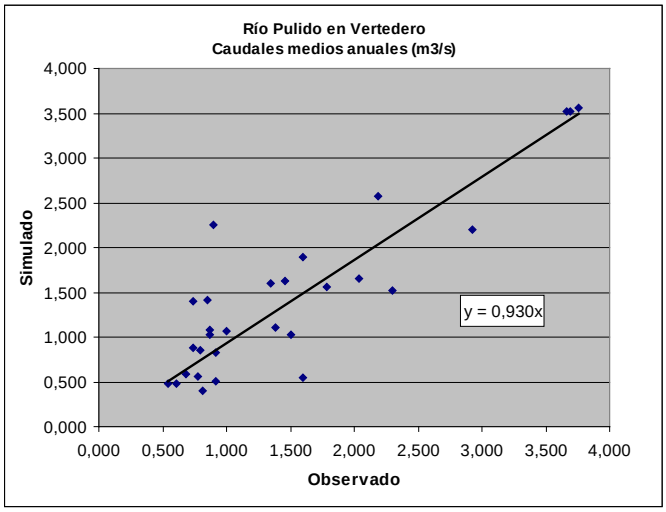
FIGURA 6-2
CAUDALES SIMULADOS VS OBSERVADOS

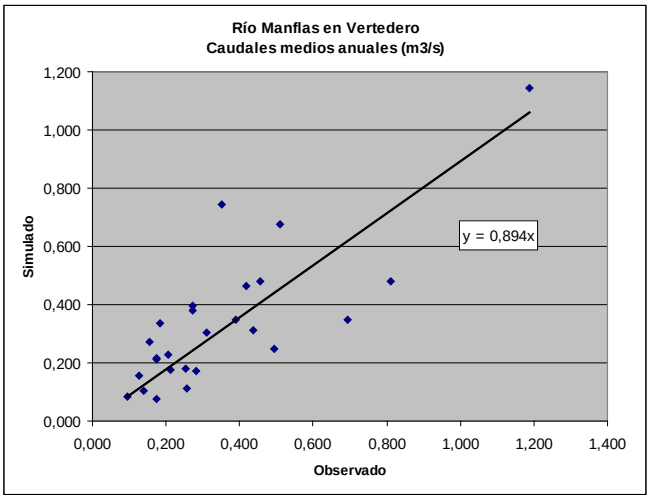


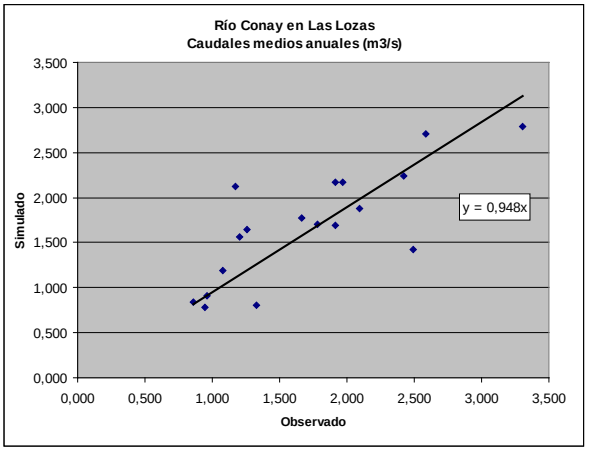


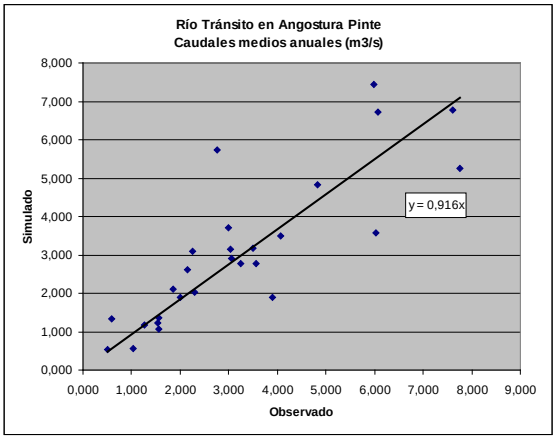









Río Conay en Las Lozas
Caudales medios anuales (m3/s)
Simulado
Observado
y = 0,948x
0,000
0,500
1,000
1,500
2,000
2,500
3,000
3,500


Río Tránsito en Angostura Pinte
Caudales medios anuales (m3/s)
Simulado
Observado
y = 0,916x
0,000
1,000
2,000
3,000
4,000
5,000
6,000
7,000
8,000
9,000

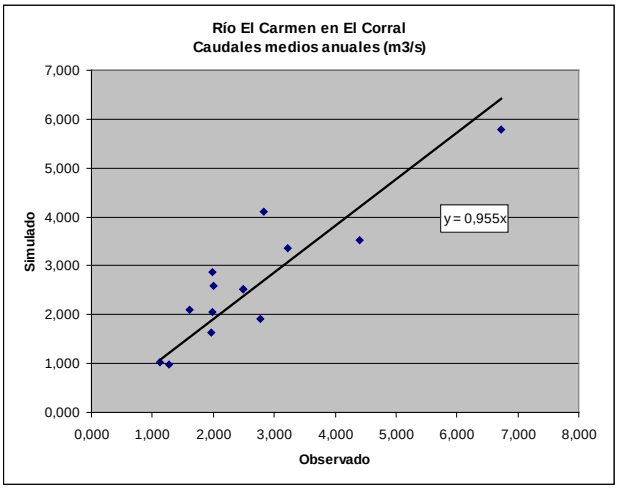
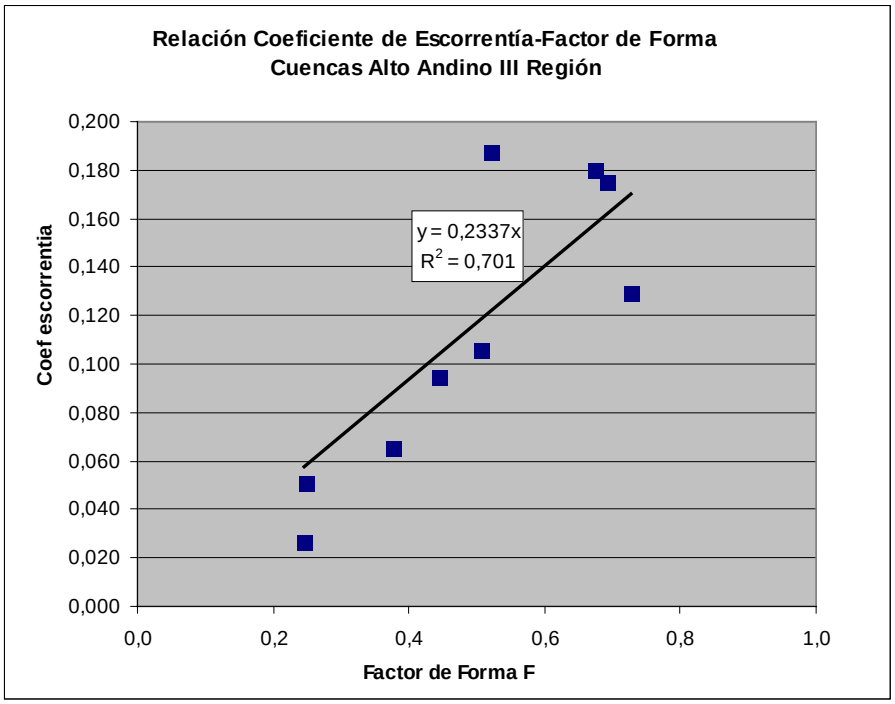

Río El Carmen en El Corral
Caudales medios anuales (m3/s)
Simulado
Observado
y = 0,955x
0,000
1,000
2,000
3,000
4,000
5,000
6,000
7,000
8,000

FIGURA 6-3
CORRELACIÓN FACTOR DE FORMA CON COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA



CUADRO 6-7
VALOR DE COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA

Cuenca	Sup	P media	Coeficiente de Escorrentía		
			Flujo Base	Escorrentía Directa	Escorrentía Total
	(km2)	(mm)	A	B	C
Río La Ola en Vertedero	1154	146	0,0970	0,0083	0,1053
Río Lamas en El Salto	151	195	0,1627	0,0250	0,1877
Río Villalobos en Vertedero	98	197	0,0529	0,0122	0,0652
Río Jorquera en Vertedero	4185	178	0,0127	0,0136	0,0263
Río Pulido en Vertedero	2048	221	0,0472	0,0472	0,0944
Rio Manflas en Vertedero	981	259	0,0269	0,0238	0,0507
Río Conay en Las Lozas	1608	257	0,0740	0,0552	0,1292
Río Tránsito en Angostura Pinte	2666	243	0,0667	0,1086	0,1753
Río El Carmen en El Corral	2428	242	0,0866	0,0935	0,1800

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

De esta manera, la ecuación para calcular la escorrentía superficial media anual a la salida de una cuenca de superficie SUP y Precipitación media anual P, queda dada por la relación:

$$Q = C \cdot P \cdot SUP \; con \; C = 0{,}23 \cdot F \qquad (13)$$

Con:

P en (m/nº seg en el año)
SUP en (m2)
Q en (m3/s)
C= Coeficiente de Escorrentía
F= Factor de Forma de la Cuenca= M/L,
Área= Área aportante (km2)
L= Longitud de cauce principal en (km).
M= Ancho Equivalente (km)= Área/L

Para calcular F se considera:

$$F = M/L \text{ si } M \leq L \qquad (14)$$

y

$$F = L/M \text{ si } M > L. \qquad (15)$$

es decir, F ≤1, y en la relación 13) Cmax = 0,23.

De esta manera, el método del Factor de Forma, considera el efecto que tiene en la escorrentía superficial, la forma de la cuenca. Si, por ejemplo, se tienen 2 cuencas vecinas, con igual superficie, es esperable una mayor escorrentía superficial en el punto de salida, en aquella cuenca en que el recorrido del agua superficial es menor, es decir, en aquella cuenca que posee un factor de forma mayor. La escorrentía superficial tenderá a ser máxima, cuando el factor de forma tiende a 1, es decir cuando el ancho medio y la longitud de la cuenca son similares, pues de esta manera la longitud del recorrido del agua superficial es menor.

6.3.3. Generación de la Oferta Hídrica

Se generó la escorrentía superficial en 32 de las 34 cuencas andinas indicadas en la presentación metodológica de este estudio (2 cuencas no fueron consideradas pues sus aguas drenan hacia el territorio argentino).

Para generar esta escorrentía se utilizó la relación (13) antes señalada, y los datos de precipitación media anual y superficie en cada cuenca.

Adicionalmente, se compararon estos resultados con los obtenidos mediante la metodología DGA 2012.

a) Metodología DGA 2012

La metodología DGA 2012, plantea la siguiente relación:

$$P = m \cdot f + c \qquad (16)$$

Donde P es la precipitación media anual de la cuenca y f el coeficiente de escorrentía. Se plantea una relación para invierno y una para verano.

Los coeficientes m y c, se obtienen del ajuste lineal de la correlación de valores de P y f= Qobs/(P*Sup), de un conjunto de cuencas con control fluviométrico, siendo Sup el área aportante. Luego, con m y c, y conocido P, se puede obtener el valor de f, en cualquier cuenca que no posea control fluviométrico, mediante la relación:

$$f = \frac{(P-C)}{m} \qquad (17)$$

y obtener así el caudal superficial mediante la relación:

$$Q = f \cdot p \cdot Sup \qquad (18)$$

De esta manera dado P inv y P ver, se obtiene f inv y f ver con la relación (16), y finalmente Q inv y Q ver con la relación (17).

Los valores de m y c fueron obtenidos en "Estimación de recargas en Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica" (SIT Nº 251, Aquaterra Ingenieros Ltda, 2011), a partir de datos de precipitaciones y caudales observados en 25 cuencas andinas, de las regiones, XV, I, II y III.

Para invierno (abr-sep) se obtuvo m= 777 y c= 117, y para verano (oct-mar) se obtuvo m= 1739 y c = 27 (coeficientes obtenidos en el trabajo SIT Nº 251 (Ref. 5)).

6.3.4. Resultados obtenidos

En el Cuadro 6-8 se presentan los caudales generados para cada una de las cuencas de interés mediante el procedimiento DGA 2012 y el método propuesto en el presente estudio.

Los cálculos muestran que los caudales generados con la presente metodología son mayores a los generados con la metodología DGA.
Lo anterior es consecuencia directa de la menor magnitud del coeficiente de escorrentía que se obtuvo. Los valores de f inv son como máximo igual a 7,6%, y los valores de f ver son nulos. En el presente estudio, el coeficiente de escorrentía varía entre 6,1% y 18,8%.

La gran diferencia que se produce entre los caudales generados a través de ambas metodologías, ocurre por la estacionalidad de las lluvias. En efecto, más al Norte de la III región, las lluvias son más intensas en verano que en invierno, mientras que en la III región dicha estacionalidad se invierte. Los montos de las lluvias en invierno y en verano tienen directa relación con los factores de invierno y verano que usa la metodología DGA 2012.

CUADRO 6-8
COMPARACIÓN CAUDALES GENERADOS
SEGÚN METODOLOGÍA DGA Y PRESENTE METODOLOGÍA

Nº	Cuenca	Area	L	M	F	Pinv	Pver	Panual	Q estimado DGA 2012					Q medio anual estimado Aquaterra (2013)	
									finv	fver	Qinv	Qver	Qanual	C	Q medio anual
		(km2)	(km)	(km)		(mm)	(mm)	(mm)			(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)		(m3/s)
1	Laguna del Negro Francisco	905,615	39,200	23,102	0,589	175,9	20,6	196,5	0,076	0,000	0,383	0,000	0,383	0,136	0,765
2	Salar de Pedernales	3596,229	35,600	101,018	0,352	131,6	13,4	145,0	0,019	0,000	0,282	0,000	0,282	0,081	1,340
3	Salar de Infieles	305,923	10,915	28,027	0,389	120,0	11,8	131,8	0,004	0,000	0,005	0,000	0,005	0,090	0,115
4	Cerro el Encanche	178,387	12,500	14,271	0,876	56,6	5,5	62,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,201	0,071
5	Cerro Blanco	392,097	17,125	22,896	0,748	101,9	10,0	111,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,172	0,239
6	La Laguna	456,663	14,440	31,625	0,457	138,9	14,3	153,1	0,028	0,000	0,057	0,000	0,057	0,105	0,233
7	Qda. Los Maranceles	107,042	17,300	6,187	0,358	131,2	13,2	144,5	0,018	0,000	0,008	0,000	0,008	0,082	0,040
8	Cerro Conito de los Infieles	75,449	11,327	6,661	0,588	134,1	13,4	147,4	0,022	0,000	0,007	0,000	0,007	0,135	0,048
9	Sierra Nevada	163,530	7,990	20,467	0,390	137,0	14,9	152,0	0,026	0,000	0,018	0,000	0,018	0,090	0,071
10	Salar de Aguilar	513,490	15,540	33,043	0,470	123,2	18,5	141,7	0,008	0,000	0,016	0,000	0,016	0,108	0,250
11	Qda. La Rossa	130,564	17,763	7,350	0,414	140,7	14,1	154,8	0,030	0,000	0,018	0,000	0,018	0,095	0,061
12	Wheelwrigth	290,751	13,970	20,812	0,671	137,1	15,3	152,4	0,026	0,000	0,033	0,000	0,033	0,154	0,217
13	Laguna Escondida	199,701	17,000	11,747	0,691	141,4	15,5	156,9	0,031	0,000	0,028	0,000	0,028	0,159	0,158
14	Laguna Verde	1003,577	34,100	29,430	0,863	167,4	18,0	185,4	0,065	0,000	0,345	0,000	0,345	0,199	1,171
15	Qda. Las Amarillas	181,679	17,730	10,247	0,578	148,5	15,7	164,2	0,041	0,000	0,035	0,000	0,035	0,133	0,126
18	Salar de Piedra Parada	377,515	13,500	27,964	0,483	137,0	14,2	151,2	0,026	0,000	0,042	0,000	0,042	0,111	0,201
19	Cerro Agua de Morales	89,619	14,700	6,097	0,415	134,3	13,7	148,0	0,022	0,000	0,008	0,000	0,008	0,095	0,040
20	Lagunas del	113,454	12,600	9,004	0,715	137,0	14,6	151,5	0,026	0,000	0,013	0,000	0,013	0,164	0,090

	Jilguero														
21	Laguna del Bayo	312,847	14,700	21,282	0,691	137,4	14,6	152,0	0,026	0,000	0,036	0,000	0,036	0,159	0,240
22	Qda. El llano	104,745	14,080	7,439	0,528	136,5	14,0	150,4	0,025	0,000	0,011	0,000	0,011	0,122	0,061
23	Salar Grande	780,658	21,270	36,702	0,580	133,4	13,7	147,1	0,021	0,000	0,070	0,000	0,070	0,133	0,485
24	Qda. la Trinchera	115,001	20,240	5,682	0,281	138,6	14,3	152,9	0,028	0,000	0,014	0,000	0,014	0,065	0,036
25	Laguna de las Parinas	95,180	8,760	10,865	0,806	137,0	14,1	151,1	0,026	0,000	0,011	0,000	0,011	0,185	0,085
26	Laguna de Colorados	411,366	13,180	31,211	0,422	146,1	15,1	161,2	0,037	0,000	0,071	0,000	0,071	0,097	0,204
27	Lagunas Bravas	412,361	24,380	16,914	0,694	136,1	14,2	150,3	0,025	0,000	0,044	0,000	0,044	0,160	0,314
28	Salar de Maricunga	2206,629	65,400	33,741	0,516	152,6	19,1	171,7	0,046	0,000	0,490	0,000	0,490	0,119	1,426
29	Piedra Pómez	916,404	48,000	19,092	0,398	156,5	17,6	174,1	0,051	0,000	0,231	0,000	0,231	0,091	0,463
30	Salar de las Parinas	580,106	17,440	33,263	0,524	143,2	14,7	157,9	0,034	0,000	0,089	0,000	0,089	0,121	0,350
31	Salar de la Isla	758,404	18,000	42,134	0,427	142,6	14,4	157,0	0,033	0,000	0,113	0,000	0,113	0,098	0,371
32	Salar de Gorbea	356,830	12,105	29,477	0,411	134,6	13,4	148,0	0,023	0,000	0,034	0,000	0,034	0,094	0,158
33	Salar de la Azufrera	249,466	12,420	20,086	0,618	117,2	11,6	128,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,142	0,145
34	Salar de Agua Amarga	457,774	18,900	24,221	0,780	127,5	12,6	140,2	0,014	0,000	0,025	0,000	0,025	0,179	0,365

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

Por otro lado, se ha efectuado una comparación de los caudales generados con las metodologías DGA 2012 y con la actual desarrollada, en cuencas con control fluviométrico, para incluir en la comparación los caudales observados en dichas estaciones. En el Cuadro 6-9 se incluyen dichas comparaciones.

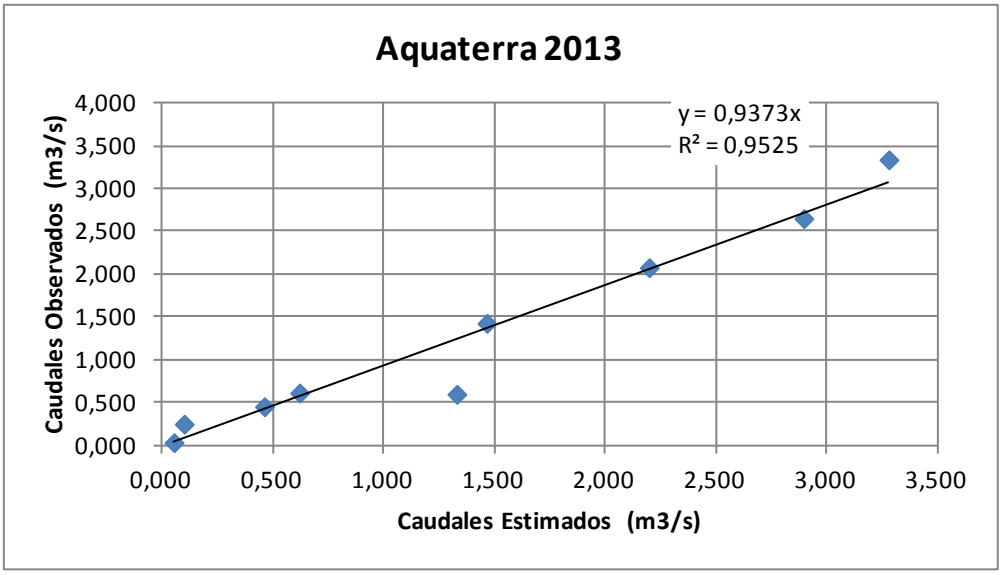
CUADRO 6-9
COMPARACIÓN CAUDALES GENERADOS CON CAUDALES OBSERVADOS EN CUENCAS CON CONTROL FLUVIOMÉTRICO

	Estimación DGA 2012			Estimación Aquaterra (2013)			Comparación con Q obs		
Cuenca	Q inv	Q ver	Q anual	Factor F	C	Q anual	Q obs	Qobs-Qdga	Qobs-Qaquaterra
	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)			(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
Río La Ola en Vertedero	0,090	0,000	0,090	0,505	0,110	0,620	0,616	0,526	-0,004
Río Lamas en El Salto	0,000	0,019	0,019	0,522	0,120	0,112	0,252	0,233	0,140
Río Villalobos en Vertedero	0,040	0,000	0,040	0,378	0,082	0,053	0,036	-0,004	-0,017
Río Jorquera en Vertedero	1,147	0,000	1,147	0,245	0,053			-1,147	0,000
Río Pulido en Vertedero	1,529	0,000	1,529	0,444	0,097	1,465	1,429	-0,100	-0,036
Río Manflas en Vertedero	1,265	0,000	1,265	0,249	0,054	0,461	0,456	-0,809	-0,005
Río Conay en Las Lozas	2,110	0,000	2,110	0,728	0,159	2,198	2,079	-0,031	-0,119
Río Transito en Angostura	2,954	0,000	2,954	0,694	0,151	3,280	3,339	0,385	0,059
Río El Carmen en El Corral	2,692	0,000	2,692	0,675	0,147	2,896	2,652	-0,040	-0,244

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

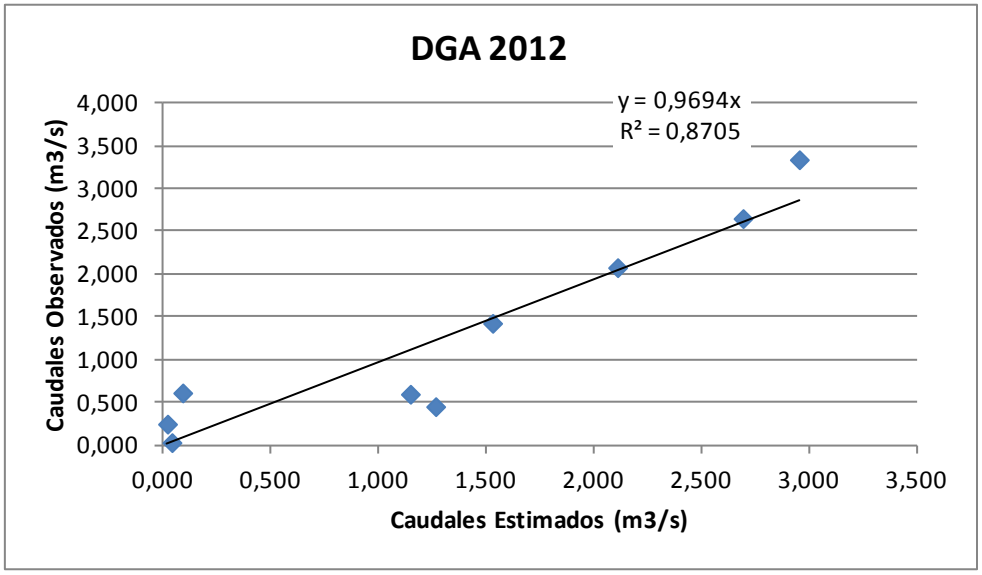
Las correlaciones de los caudales estimados con los observados se incluyen en las Figuras 6-4 y 6-5 siguientes:

FIGURA 6-4
CORRELACIÓN Q obs con Q estimado Aquaterra 2013



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

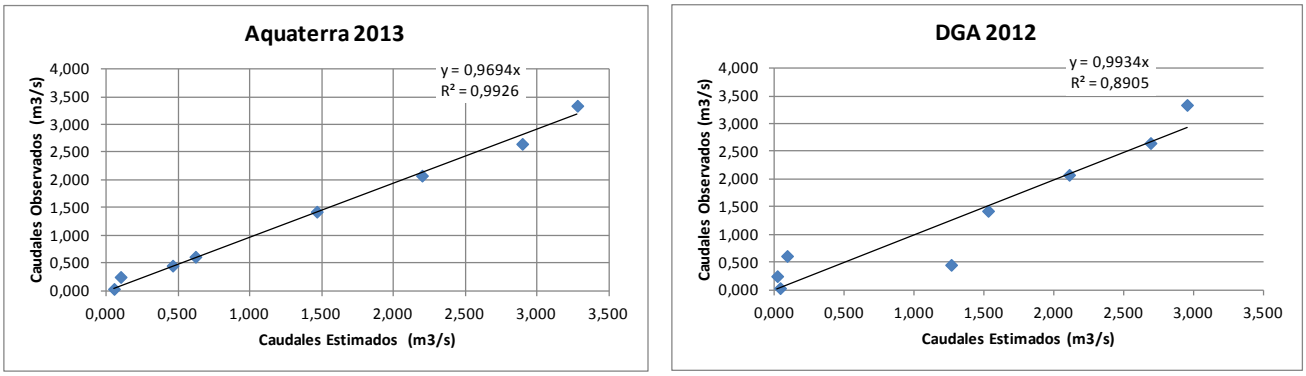
FIGURA 6-5
CORRELACIÓN Q obs con Q estimado DGA 2012



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

Si en ambas correlaciones se elimina el punto de Jorquera en Vertedero, las correlaciones mejoran ostensiblemente. En la Figura 6-6 se muestran ambas correlaciones sin incorporar el punto Jorquera en Vertedero.

FIGURA 6-6
CORRELACIONES ELIMINANDO JORQUERA EN VERTEDERO



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

Se observa que existe una mejor correlación con los caudales estimados con la metodología del presente estudio.

Por último, se ha usado la ecuación generada para aplicarla a cuencas ubicadas más al Norte (todas ellas con control fluviométrico).

En el Cuadro 6-10 se incluyen los resultados, mientras que en las Figuras 6-7 y 6-8 se muestran las correlaciones de caudales observados con los caudales medidos.

CUADRO 6-10
COMPARACIÓN CAUDALES GENERADOS CON CAUDALES OBSERVADOS EN CUENCAS CON CONTROL FLUVIOMÉTRICO UBICADAS DE LA III REGIÓN HACIA EL NORTE DE CHILE

			DGA 2012	Aquaterra 2013	Comparación con Q obs		
Nº	Cuenca	Area	Q anual	Q anual	Q obs	Qobs-Qdga	Qobs-Qaquaterra
		(km2)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
1	Río Lluta Alto	1.327	1,318	1,445	1,991	0,673	0,546
2	Río Lluta bajo Río Azufre	383	0,352	0,356	0,367	0,015	0,011
3	Río Caquena	452	0,768	0,642	1,235	0,467	0,593
4	Río San José alto	1.356	0,398	0,281	0,613	0,215	0,332
5	Río Codpa hasta Cala-Cala	370	0,123	0,060	0,13	0,007	0,070
6	Río Camarones hasta Conanoxa	2.007	0,414	0,397	0,504	0,090	0,107
7	Quebrada Camiña hasta Altusa	519	0,363	0,135	0,291	0,072	0,156
8	Quebrada de Tarapaca hasta Sibaya	549	0,217	0,192	0,173	0,044	0,019
9	Río Collacagua hasta Peñablanca	723	0,358	0,624	0,184	0,174	0,440
10	Río Piga hasta Collacagua (Huasco)	398	0,236	0,362	0,138	0,098	0,224
11	Río Guatacondo hasta Copaquire	189	0,075	0,116	0,025	0,050	0,091
12	Río Loa hasta Lequena	2.055	0,674	0,843	0,571	0,103	0,272
13	Río Salado	2.359	0,256	0,604	0,498	0,242	0,106
14	Río Salado hasta Curti	551	0,238	0,355	0,255	0,017	0,100
15	Río San Pedro de Atacama	1.412	0,457	0,579	0,694	0,237	0,115
16	Canal Cuno hasta Socaire	170	0,072	0,065	0,156	0,084	0,091
17	Río Jorquera en Vertedero	4.185	1,147	1,330	0,601	0,546	0,729
18	Río Pulido en Vertedero	2.048	1,529	1,465	1,429	0,100	0,036
19	Río Manflas en Vertedero	981	1,265	0,461	0,456	0,809	0,005
20	Río La Ola en Vertedero	1.154	0,090	0,620	0,616	0,526	0,004
21	Río Villalobos en Vertedero	98	0,040	0,053	0,036	0,004	0,017
22	Río Lamas en El Salto	151	0,019	0,099	0,252	0,233	0,153
23	Río Conay en Las Lozas	1.608	2,110	2,198	2,079	0,031	0,119
24	Río Transito en Angostura	2.666	2,954	3,280	3,339	0,385	0,059
25	Río El Carmen en El Corral	2.428	2,692	2,896	2,652	0,040	0,244

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

FIGURA 6-7
CORRELACIÓN Q obs con Q estimado Aquaterra 2013
25 CUENCAS

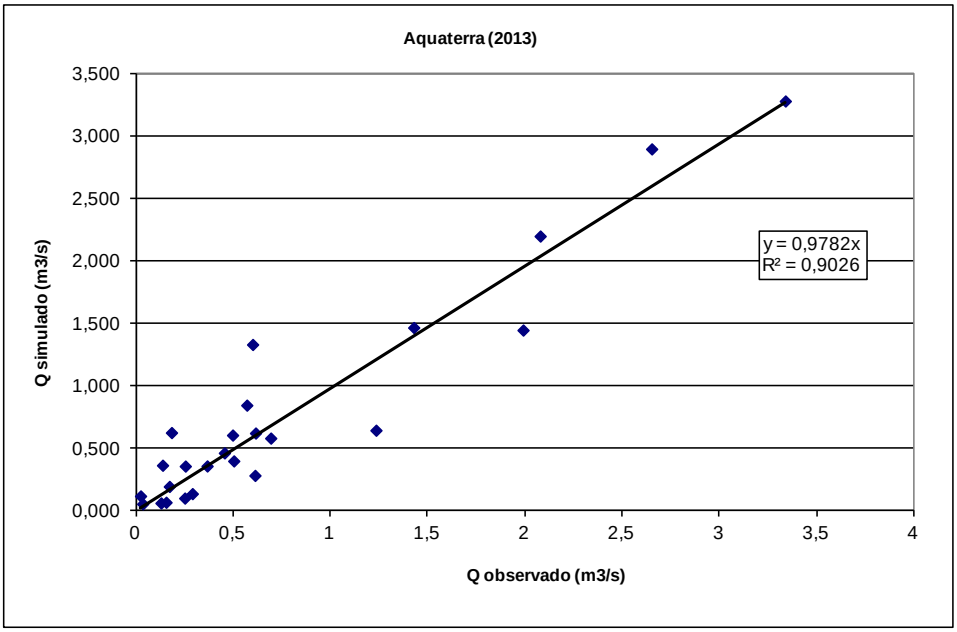
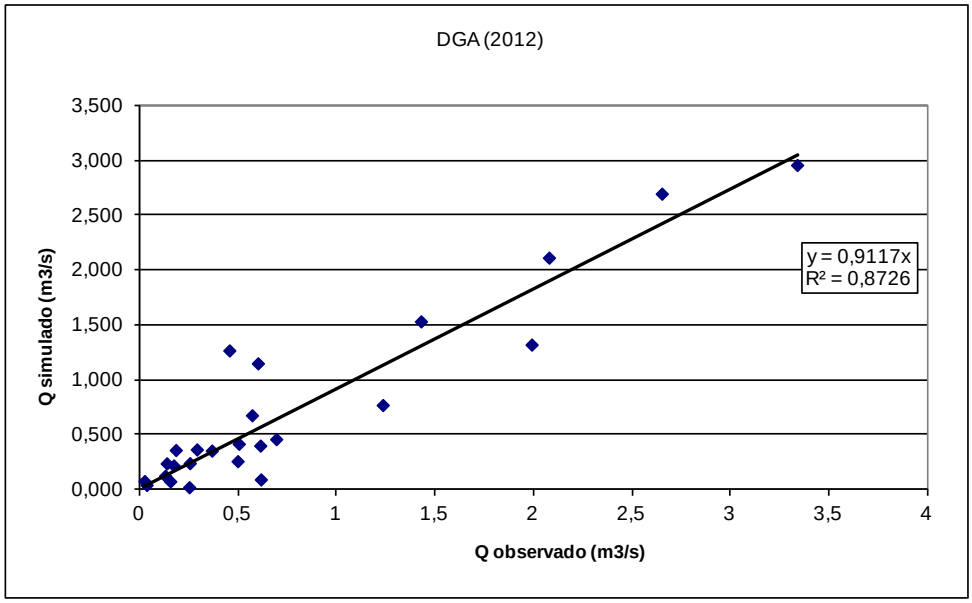


FIGURA 6-8
CORRELACIÓN Q obs con Q estimado DGA 2012
25 CUENCAS



7. Estimación de las Descargas del Sistema Hídrico

En términos generales, las descargas de un sistema hídrico están asociadas a los siguientes procesos generales:

- Ejercicio de derechos de aprovechamientos de aguas superficiales y subterráneas otorgados en la zona de estudio
- Evaporaciones desde superficies naturales
- Descargas naturales a lagunas, vegas y otros sistemas hídricos

Respecto a las demandas de recursos hídricos subterráneos y superficiales en el área específica de interés, esta proviene exclusivamente de las Compañías Mineras instaladas en la zona.

7.1. Derechos de Aguas Subterráneas y Superficiales

Tal como fuera antes señalado, esta información se obtuvo directamente del Centro de Información de Recursos Hídricos de la DGA (CIRH).

El detalle de la información base de los derechos de aguas se puede consultar en el capítulo 4. Los caudales totales asociados a los derechos de agua son los siguientes (todos ellos ubicados dentro del área de interés):

- Derechos de Aguas Subterráneas Constituidas: 4.223,02 l/s
- Derechos de Aguas Subterráneas en Trámite: 895,47 l/s
- Derechos de Aguas Superficiales Constituidos: 356,12 l/s
- Derechos de Aguas Superficiales en Trámite: 865,9 l/s

Los montos de los derechos de aguas subterráneas y superficiales en trámite se indican sólo de manera referencial, ya que debido a su condición, ellos no constituyen una demanda de agua actual.

Los derechos asociados a cada una de las cuencas de interés se incluyen en el Cuadro 7-1 siguiente.

CUADRO 7-1
DERECHOS DE AGUA ASOCIADOS A LAS CUENCAS DE ESTUDIO

		DERECHOS SUBTERRÁNEOS				DERECHOS SUPERFICIALES			
ID	CUENCA	Constituidos		Trámite		Constituidos		Trámite	
		Nº	Caudal (l/s)	Nº	Caudal (l/s)	Nº	Caudal (l/s)	Nº	Caudal (l/s)
1	Laguna San Fco.			5	38,97				
2	Salar de Pedernales	14	849,3	1	105			5	65,85
5	Cerro Blanco			2	27				
6	La Laguna	5	417						
11	Qda. La Rosa			4	194,5				
14	Laguna Verde					2	300	2	800
28	Salar de Maricunga	18	1.321	7	490	2	52		
29	Qda. Nevados de Jucalito	17	1.237,62						
31	Salar de la Isla			1	40				
32	Salar de Gorbea	3	125			1	2,8		
33	Salar de la Azufrera	5	240,6						
34	Salar de Agua Amarga	1	32,5			2	1,32		
	TOTALES	**63**	**4.223,02**	**20**	**895,47**	**7**	**356,12**	**7**	**865,85**

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

De acuerdo con la información anterior, en las cuencas del salar de Maricunga y Nevados de Juncalito, sus derechos de aguas subterráneas constituidas (1.321 l/s + 1237,62 l/s= 2.558,62) corresponden al 61 % del total de derechos de aguas subterráneas constituidos (4.223 l/s).

La información de caudales de bombeo según derechos de aguas subterráneas y superficiales constituidos, corresponde a la principal información cuantitativa de extracciones efectivas de aguas desde una determinada cuenca.

Adicionalmente, se cuenta con información de captaciones de agua subterráneas sujeta al pago de patentes. En el Cuadro 7-2 se incluyen los pozos que deben pagar patente por no uso del derecho.

CUADRO 7-2
POZOS SUJETOS AL PAGO DE PATENTES

Nº Expediente	PROPIETARIO	Caudal Otorgado (l/s)	Caudal Pago Patente (l/s)	Dif. (l/s) *
ND-0302-498	COMPAÑIA MINERA CASALE	130	130	0
ND-0302-486	COMPAÑIA MINERA CASALE	120	120	0
ND-0302-483	COMPAÑIA MINERA CASALE	120	120	0
ND-0302-494	COMPAÑIA MINERA CASALE	120	120	0
ND-0302-490	COMPAÑIA MINERA CASALE	108	108	0
ND-0302-249	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	108	93	15
ND-0302-489	COMPAÑIA MINERA CASALE	102	102	0
ND-0302-488	COMPAÑIA MINERA CASALE	100	100	0
ND-0302-497	COMPAÑIA MINERA CASALE	100	75	25
ND-0302-60	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	100	95	5
ND-0302-60	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	100	95	5
ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	100	55	45
ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	100	55	45
ND-0302-492	COMPAÑIA MINERA CASALE	95	65	30
ND-0302-208	CHEVRON MINERA CORPORATION OF CHILE	62	62	0
ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	55	55	0
ND-0302-193	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	50	50	0
ND-0302-193	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	50	50	0
ND-0302-491	COMPAÑIA MINERA CASALE	47	47	0
ND-0302-265	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	45	45	0
ND-0302-495	COMPAÑIA MINERA CASALE	43	43	0
ND-0302-493	COMPAÑIA MINERA CASALE	30	30	0
ND-0302-487	COMPAÑIA MINERA CASALE	30	30	0
ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	30	25	5
ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	30	25	5
ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	25	25	0
ND-0302-484	COMPAÑIA MINERA CASALE	20	20	0
ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	1	25	61
ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	30		
ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	30		
ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	25		
	*: caudal que se está usando			

Fuente: DGA III Región, elaboración propia

Para efectos de evaluar los recursos hídricos subterráneos y superficiales que se explotan en el área de estudio, se tomarán en cuenta los siguientes criterios generales:

a) Hay varias compañías mineras que hoy no están explotando recursos, como por ejemplo Cía. Minera Casale, KG Minera LM S.A., Minera Lobo Marte, etc.
b) Como criterio conservador, se aplicará un factor de 0,75 al caudal especificado como derechos de aguas constituidas. Lo anterior se debe a que las compañías mineras que fueron consultadas respecto a sus producciones históricas no emitieron respuesta alguna.

c) Los derechos de aguas en trámite no serán considerados.
d) Los caudales afectos al pago de patentes, es decir, hoy no se están usando, serán considerados como que están en uso (criterio conservador).

En ese contexto, los caudales que son explotados teóricamente en las cuencas donde efectivamente existen derechos de agua son los que se incluyen en el Cuadro 7-3.

CUADRO 7-3
CAUDALES EXPLOTADOS SEGÚN DERECHOS DE AGUAS

		Caudales Subterráneos		Caudales Superficiales		
ID	CUENCA	Caudal Según Derechos (l/s)	Caudal Efectivo (l/s)	Caudal Según Derechos (l/s)	Caudal Efectivo (l/s)	
2	Salar de Pedernales	849	637	0	0	
6	La Laguna	417	313	0	0	
14	Laguna Verde	0	0	300	300	
28	Salar de Maricunga	1.321	991	52	52	
29	Qda. Nevados de Jucalito	1.238	928	0	0	
32	Salar de Gorbea	125	94	3	3	
33	Salar de la Azufrera	241	180	0	0	
34	Salar de Agua Amarga	33	24	1	1	
						TOTAL
	TOTALES	4.223	3.167	356	356	**3.523**

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

Por otro lado, de acuerdo con lo que se indica en el documento "Actualización de la Información Sobre el Consumo de Agua en la Minería del Cobre al Año 2012", Comisión Chilena del Cobre (Cochilco), la extracción total de agua fresca al año 2012, calculada según encuestas (Encuesta de Producción, Energía y Recursos Hídricos elaborada anualmente por la Comisión desde el año 2009) y extrapoladas, en base a porcentajes de representatividad, al consumo de agua fresca por región.

Los datos se procesan y clasifican para cada proceso dentro de la operación minera. Una vez que la base de datos ha sido poblada de manera exhaustiva, se analizan los datos de manera global, regional y los coeficientes unitarios, junto con las variaciones que los resultados presentan en el tiempo.

De esta manera se obtiene la demanda del recurso hídrico por parte de la minería del cobre a nivel nacional de acuerdo a la producción total de cobre fino durante el 2012. Luego de obtener esa demanda, se extrapolan

los resultados regionalmente para obtener el consumo de agua para el 100% de la producción.

Así, las extracciones totales de agua fresca en la III Región para el año 2012 fueron de 1.624 l/s, cifra algo similar a los consumos calculados para años anteriores (1.650 l/s (año 2009), 1.667 l/s (año 2010), 1.636 (año 2011) y 1.624 (año 2012).

En el caso de la III Región de Atacama, el agua superficial corresponde al 43%, el agua de origen subterráneo al 46% y el 10% restante a aguas adquiridas a terceros. Lo anterior da cuenta de los siguientes datos de extracciones de agua fresca para toda la III Región:

- Extracciones de agua subterránea: 747 l/s
- Extracciones de agua superficial: 698 l/s
- Aguas adquiridas a terceros: 162 l/s

Al comparar las extracciones según Cochilco y los derechos de aguas, se tiene lo siguiente:

- Derechos de aguas subterráneas (aplicando factor de uso)= 3.109 l/s
- Extracciones de agua subterránea= 747 l/s

- Derechos de aguas superficiales= 356 l/s
- Extracciones de aguas superficiales= 698 l/s

Otras descargas que se producen en las cuencas de interés son las que se presentan a continuación.

7.2. Evaporaciones desde Superficies Naturales

7.2.1. Evaporación desde Cuerpos de Agua Libre

Comúnmente, la tasa de evaporación desde superficies libres (Eo) queda definida por la siguiente expresión:

Eo= Kt x Et
Donde:

Et= evaporación medida en tanques evaporímetros (mm/día)

Kt= coeficiente de ajuste a la evaporación de tanque observado mm/día, (Linsley et al., 1977)

De acuerdo con Shuttelworth (1993), el factor de tanque que se utiliza para áreas con humedad relativa baja (< 40%) y condiciones de viento moderado (2-5 m/s), se mueve en el rango de 0,45 a 0,70; 0,6 aparece como un valor apropiado (Ref. 2, Volumen 10, pág. 250).

Para efectos de evaluar evaporaciones desde cuerpos de agua libre, se utilizará la siguiente metodología:

a) Se usan las isolíneas de evaporación de tanque del Balance Hídrico (DGA, 1987) junto con las estadísticas de evaporación (evaporación media anual) de las estaciones de evaporación de tanque que hay en la zona de interés (estaciones Copiapó, Iglesia Colorada, Lautaro Embalse, Los Loros).
b) Con las isolíneas y los valores medios anuales de evaporación de tanque de las estaciones evaporimétricas, se procede, con la ayuda del Arc Gis 9.3, a determinar un manto de evaporaciones en la zona de interés, con el cual será factible calcular la evaporación real en los cuerpos de agua que existan en las cuencas de estudio. En el Anexo 6-2 se detalla el procedimiento seguido.
c) Para efectos de la estimación de las áreas ocupadas por lagunas, se procesan las imágenes satelitales Landsat (Google Earth). Se verificó que los tamaños de las lagunas que se ubican en las cuencas de interés, no han variado en el tiempo (revisión imágenes google earth en distintos años).

En el Cuadro 7-4 se incluye, para cada una de las cuencas de interés, las evaporaciones medias anuales calculadas.

CUADRO 7-4
EVAPORACIONES MEDIAS ANUALES

Nº	CUENCA	Evaporación Tanque (mm/año)	Evaporación (mm/año)
1	Laguna del Negro Francisco	1.398	839
2	Salar de Pedernales	1.589	953
3	Salar de Infieles	1.608	965
4	Cerro el Encanche	1.724	1.034
5	Cerro Blanco	1.689	1.013
6	La Laguna	1.492	895
7	Qda. Los Maranceles	1.474	884
8	Cerro Conito de los Infiele	1.487	892
9	Sierra Nevada	1.235	741
10	Salar de Aguilar	1.517	910
11	Qda. La Rossa	1.387	832
12	Wheelwrigth	1.262	757
13	Laguna Escondida	1.155	693
14	Laguna Verde	1.127	676
15	Qda. Las Amarillas	1.123	674
16	Cerro Agua Caliente	1.026	616
17	Cerro Nevado de Incahuasi	976	586
18	Salar de Piedra Parada	1.403	842
19	Cerro Agua de Morales	1.367	820
20	Lagunas del Jilguero	1.318	791
21	Laguna del Bayo	1.219	732
22	Qda. El llano	1.227	736
23	Salar Grande	1.367	820
24	Qda. la Trinchera	1.166	699
25	Laguna de las Parinas	1.235	741
26	Laguna de Colorados	1.125	675
27	Lagunas Bravas	1.241	744
28	Salar de Maricunga	1.503	902
29	Piedra Pómez	1.344	806
30	Salar de las Parinas	1.211	726
31	Salar de la Isla	1.357	814
32	Salar de Gorbea	1.374	824
33	Salar de la Azufrera	1.637	982
34	Salar de Agua Amarga	1.641	985
	PROMEDIO	1.353	812

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

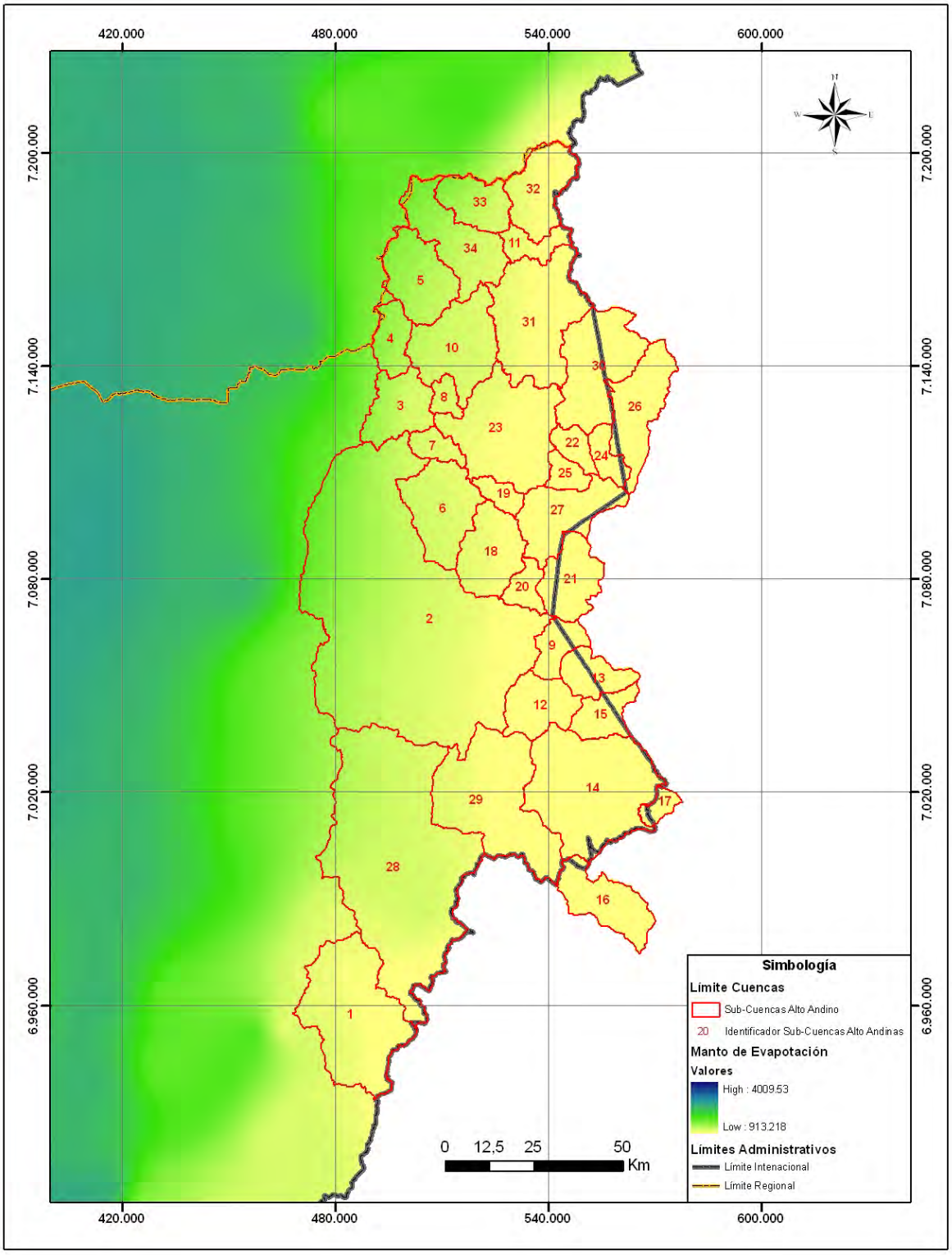
Otros cuerpos de agua libre que pudiesen sufrir evaporaciones desde sus superficies corresponden a los escurrimientos de agua en ríos y esteros.

Para efectos de la determinación de las pérdidas de los cuerpos de agua libre, se determinarán, a través de imágenes desde google earth plus, las áreas de cada uno de los cuerpos de agua antes señalados, y se usarán las evaporaciones medias anuales incluidas en el cuadro anterior, con lo que se obtendrán las evaporaciones medias anuales que se producen en cada una de las cuencas de interés.

Lo anterior será analizado en función de la ubicación (cota) del cuerpo de agua libre, y del monto de la evaporación en dicha cota según el manto de evaporaciones generados.

En la Figura 7-1 se muestra el manto de evaporaciones generadas.

FIGURA 7-1
MANTO DE EVAPORACIONES GENERADAS (mm/año)



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

7.2.2. Evaporación desde Vegas y Bodefales

La demanda hídrica de vegas y bofedales se evaluará mediante la conocida relación:

ETr= Kc x Eo (1)

ETr= evapotranspiración real de la vegetación (mm/año)
Kc= coeficiente de cultivo
Eo= Evaporación potencial (mm/año)= KtxEt, con Kt = Coeficiente de Tanque = 0,6 y Et = Evaporación de Tanque (mm/año)

Para Kc se considerará los antecedentes presentados en "Estimación de Requerimientos Hídricos de Humedales del Norte de Chile" (SDT Nº 96, DGA, 2001). En este estudio se realiza un monitoreo del Bofedal de Isluga, en la Primera Región, y se mide el caudal superficial entre diferentes secciones del bofedal, lo que permite calcular las pérdidas por evapotranspiración.

Considerando como base los tipos vegetacionales del bofedal de Isluga utilizado en ese estudio, así como los respectivos valores de kc, en el Cuadro 7-5 se define el patrón vegetacional de bofedales y vegas que se utilizará en la presente consultoría.

CUADRO 7-5
PATRÓN VEGETACIONAL VEGAS Y BOFEDALES

Unidad	Kc					Área
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio	(km2)
Cojines	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,467
Transición 1	0,83	0,80	0,78	0,80	0,80	1,211
Vega 1	0,76	0,69	0,58	0,69	0,68	0,000
Transicion 2	0,60	0,52	0,35	0,52	0,50	0,768
Vega 2	0,50	0,42	0,24	0,42	0,40	0,842
					Total	5,288

Fuente: SDT N 96, DGA, 2001

De esta manera, considerando los Kc promedio para cada unidad vegetacional, y ponderándolo por la superficie asociada, se obtiene un Kc único para Vegas y Bofedales, igual a 0,785. Según las mediciones realizadas en el estudio señalado, en Enero y Septiembre de 1999, la evapotranspiración en el bodefal de Isluga fue de 0,518 (l/s/ha) en enero, y de 0,356 (l/s/ha) en septiembre.

Para efectos de la determinación de la evaporación de tanque se utilizará, la metodología de cálculo basada en las isolíneas del Balance Hídrico (ver capítulo anterior).

Por otro lado, como método alternativo, se calculará la evapotranspiración en el bofedal i considerando la relación (SIT 157, Dictuc, 2009):

$$Et(i) = Etb + (Cb - C(i)) * Grad \quad (2)$$

Et(i)= evaporación de tanque en la zona del bofedal i (mm/año)
Etb= evaporación de tanque en la estación evaporimétrica base (mm/año)
Cb = Cota de la estación base (msnm)
C(i)= cota del bofedal i (msnm)
Grad= Gradiente evaporimétrico (mm/m)

Es decir, la ETr del bofedal, será igual a la (1), dónde sólo se está variando el cálculo de la Et (evaporación de tanque):

ETr= Kc x Eo

ETr= evapotranspiración real del bofedal o vegetación (mm/año)
Kc= coeficiente de cultivo
Eo= Evaporación potencial (mm/año)= KtxEt (i), con Kt = Coeficiente de Tanque = 0,6 y Et (i) = Evaporación de Tanque (mm/año) en la zona donde se ubica el bofedal (i).

Para Grad se utilizarán los siguientes valores (SIT 157, Dictuc, 2009):

Para 1100 msnm < Cota< 3000 msnm Etb = cte = 3100 mm/año Grad = 0
Para 3000 msnm < Cota Grad = -0,933 mm/m

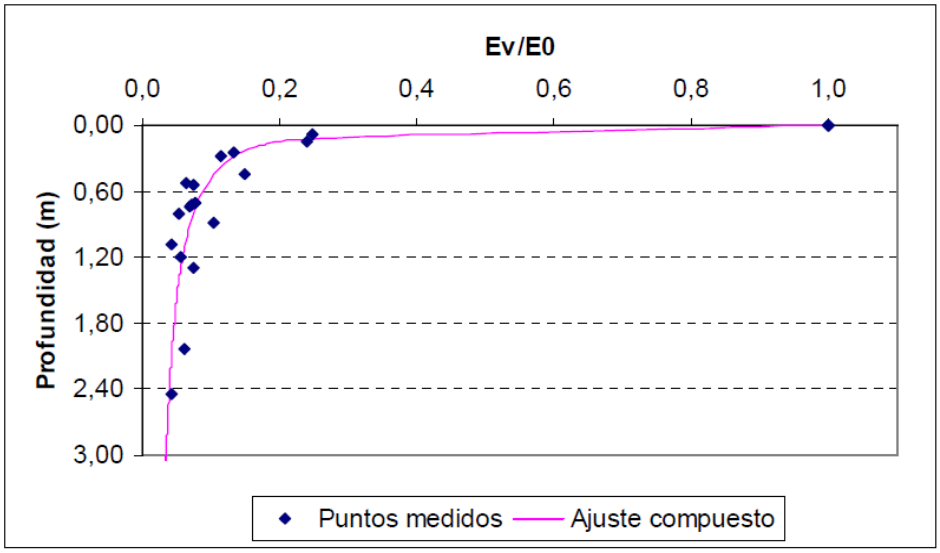
Para determinar las cotas de las vegetaciones, se usarán modelos digitales de elevación SRTM, con pixeles de 90 m x 90 m (en esta zona son más precisos que modelos de elevación con pixeles de 30 m x 30 m). Las áreas de las vegetaciones se cuantificarán a partir de imágenes Landsat de Google Earth Plus.

7.2.3. Evaporación desde Suelo del Salar y su Entorno

En el trabajo SIT 157 (Dictuc 2009), en función de mediciones de evaporación hechas con la metodología del Domo en las cuencas de Pedernales y Maricunga, se construyó una curva regional de evaporación versus profundidad de la napa. La metodología empleada y el detalle de las labores realizadas se puede consultar en la parte VII del estudio del Dictuc.

En la Figura 7-2 se muestra la curva de ajuste obtenida para la Región de Atacama, y será la que se utilizará para el presente estudio.

FIGURA 7-2
CURVA EVAPORACIÓN – PROFUNDIDAD DE NAPA AJUSTADA EN LA REGIÓN DE ATACAMA (SIT 157)



Fuente: Ref. 2, Dictuc 2008

Las relaciones analíticas que describen la curva son las siguientes:

$$En = e^{-11,09\ z} \qquad z < 0,15\ m \qquad (3)$$

$$En = 0,065\ z^{-0,575} \qquad z > 0,15\ m \qquad (4)$$

Siendo "En" la evaporación normalizada, definida por el cuociente entre la evaporación real y la evaporación potencial.

El caudal evaporado se determina estableciendo superficies Ai asociadas a profundidades de napa dadas zi, dentro del salar. De esta manera, el caudal evaporado se obtiene de la relación:

$$Q = Eo * \Sigma Ai * En (Zi) * 10^6 / (Nº \text{ seg año}) \qquad (5)$$

Q= caudal evaporado desde el suelo (l/s)
Eo= evaporación potencial (mm/año)
Ai= área (km2) asociada a la profundidad zi

Tal como se puede concluir de la relación anterior, para poder aplicarla se hace necesario conocer profundidades del agua subterránea en la zona del salar y de su entorno.

En el caso específico del Salar de Pedernales, se cuenta con información de piezometría de 50 punteras, calicatas y pozos ubicados en el Salar y zonas cercanas (CPH Consultores, 2004), distribuidas en una superficie total de 315 km2, con napas ubicadas a menos de 10 m bajo el nivel del terreno.

Más del 70% del área total tiene napas entre 0,8 y 2 m bajo el nivel del terreno, siendo el ubicado entre 1,0 y 1,5 m de profundidad el que ocupa la mayor superficie, aproximadamente el 70% del área total.

Con estos antecedentes, en el estudio SIT 157 se determinó una evaporación anual de 572 l/s, considerando las isolíneas de evaporación de tanque del Balance Hídrico, y una evaporación anual de 906 l/s, considerando la evaporación de tanque calculada a partir del gradiente evaporimétrico.

En el salar de Maricunga, en el estudio SIT 157, considerando una profundidad media de 0,49 m para el nivel de la napa, se estimó una evaporación de 441 y 605 l/s, con las dos metodologías de cálculo para la evaporación de tanque.

En ese estudio se señaló que, dado que el aporte estimado de agua de la cuenca al salar es de 1.201 l/s, y dado que se asume que toda el agua que llega al salar se pierde por evaporación, los caudales estimados para la evaporación estarían subvalorados, lo que implicaría una napa a menor profundidad, y que finalmente se ubicó en 0,28 m de profundidad.

Es necesario señalar que en el estudio "Análisis de la Situación Hidrológica e Hidrogeológica de la Cuenca del Salar de Maricunga, III Región SDT Nº 225" (DEP 2006) se asevera que las descargas por evaporación desde el

área del salar es igual a la escorrentía afluente, dado que es la única salida natural probada del sistema. Sin embargo, esto no es necesariamente cierto, y puede perfectamente existir una descarga subterránea hacia la cuenca del salar de Pedernales.

En general, la conexión subterránea entre cuencas contiguas del área de estudio parece ser bastante probable, dado que de no ser así, el almacenamiento hídrico subterráneo de estas cuencas, se encontraría colapsado.

Por otra parte, si bien es cierto que en la mayoría de los casos existe una acumulación de agua superficial en la parte baja de estas cuencas, que habitualmente va formando salares de superficie creciente debido a la evaporación del agua, la descarga subterránea hacia cuencas contiguas generaría un flujo subterráneo salado, que limitaría el crecimiento de estos salares, e incrementaría la concentración salina de los sistemas de agua receptores.

En resumen, las descargas por evaporaciones que serán evaluadas serán las siguientes (cuando correspondan):

- Sector Salar: Lagunas, Vegas y Bofedales, Cauces Superficiales, Suelo
- Resto Cuenca: Vegas y Bofedales, Cauces Superficiales

7.2.4. Descargas Naturales a Lagunas, Vegas y Otros Sistemas Hídricos

La información de este punto se ha obtenido del estudio de la Ref. 2, Estudio Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, regiones XV, I, II y III; SIT Nº 157 (parte 1) y SIT Nº 195 (parte 2)- DICTUC 2009. Este estudio a su vez, para el desarrollo de este capítulo, utilizó información generada y desarrollada por ese trabajo, contrastándola con lo propuesto por distintos autores que han abordado el tema en esa área de estudio.

Al igual que en otras zonas del Altiplano, los acuíferos están en gran medida condicionados por las condiciones geológicas estructurales, debido al régimen tectónico que ha dado a las rocas y depósitos una permeabilidad secundaria. Los acuíferos más estudiados de las cuencas piloto de la Región de Atacama corresponden a los alojados en depósitos

aluviales, en los llanos y depresiones de las cuencas, próximos a la zona donde se emplazaron los salares. Destacan en estos depósitos el Llano Ciénaga Redonda en Maricunga y el Llano de Pedernales, en Pedernales.

a) Salar de Pedernales

En el caso de la cuenca Salar de Pedernales, se constata una clara conexión de origen antrópico con la cuenca del Río Salado, ubicada al Oeste y de carácter exorreico. Esta conexión está dada por la descarga desde el acuífero del Salar de Pedernales a través de un dren artificial, construido en la década de 1920 – 1930.

En la Figura 7-3 se muestra la zona de descarga, tomada de la imagen satelital de Google Earth, mientras que en el Cuadro 7-6 se incluyen aforos efectuados.

FIGURA 7-3
DREN AGUA HELADA



Fuente: Ref. 2, Dictuc 2008

CUADRO 7-6
AFOROS EFECTUADOS EN DREN AGUA HELADA

Autor	Fecha	Caudal (L/s)
Henríquez et al., 1975	10/1975	70
Risacher et al., 1999	13/11/1975	51
SERNAGEOMIN, 2005	25/03/2000	64
CPH Consultores, 2004 (CODELCO, DSAL)*	-	80

*En el informe se señala que estos aforos con molinete son considerados altos.

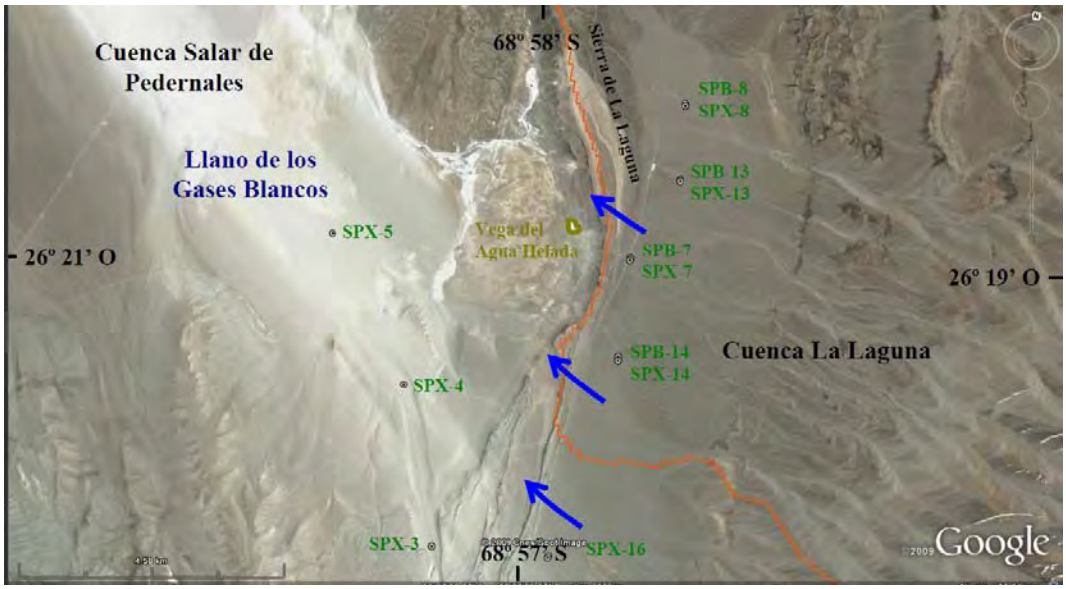
Fuente: Ref. 2, Dictuc 2008

Otra conexión corresponde a la que se da entre la cuenca La Laguna (Llano de la Vega Helada) y la del Salar de Pedernales. La información de niveles piezométricos e hidrogeoquímica avala este hecho, sin embargo, la geología de superficie en la zona límite entre ambas cuencas (Sierra de La Laguna) no respalda cabalmente este supuesto. En algunos estudios, ambas cuencas han sido consideradas como una sola (ej.: EDRA, 1999).

Los pozos en el Llano de la Vega Helada tienen un nivel piezométrico mayor hacia el Sur y están emplazados en un mismo depósito aluvial continuo, lo que indica un flujo hacia el NNW.

Por otra parte, las cotas de nivel de pozos existentes (SPB y SPX) son mayores a las de aquellos ubicados en Pedernales (Llano de los Gases Blancos), y la divisoria de aguas superficial que aparece como pseudo-impermeable, se encuentra fracturada y tendría una permeabilidad secundaria que permitiría el paso de agua subterránea por esta zona. En particular, al Sur de los pozos SPB-13 y SPX-13, la divisoria pierde espesor, y al Oeste de ésta hay algunas vegas que indicarían un aporte subterráneo en esa dirección, dado que la subcuenca aportante a los afloramientos que la alimentan resulta pequeña para producir escurrimientos permanentes (Figura 7-4).

FIGURA 7-4
DESCARGA DESDE CUENCA LA LAGUNA (Llano de la Vega Helada)
AL LLANO DE LOS GASES BLANCOS (Salar de Pedernales)



Fuente: Ref. 2, Dictuc 2008

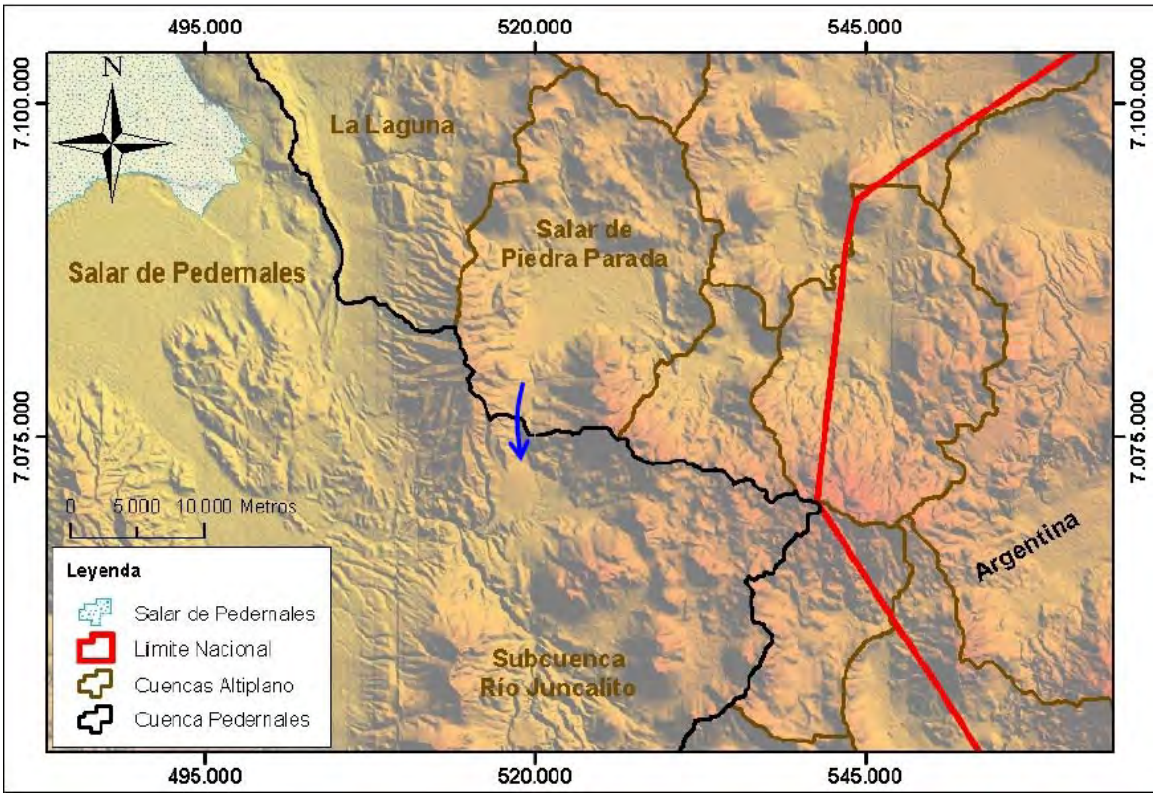
Aguirre y Venegas (2005), basados en los datos de Aguirre (2003), estiman un aporte de al menos 70 l/s hacia Pedernales, basado en estas mismas evidencias, la interpretación de la información gravimétrica que había disponible en la zona, los afloramientos de agua al Sur de la Sierra de la Laguna, las concentraciones de elementos minoritarios y los datos isotópicos.

En el estudio del Dictuc se respalda el hecho de que sean mayores, basados en que la explotación actual no se habría materializado y la descarga de la cuenca a través de evaporación en sus lagunas resulta ser menor en comparación con los aportes de recarga que se producirían.

Aguirre (2003) incluso señala la posibilidad de que exista un flujo subterráneo profundo desde la subcuenca del Río Juncalito hasta el Llano de la Vega Helada, y desde ahí hasta el Llano de los Gases Blancos. Esta suposición es congruente con la reinterpretación de los TEM de EDRA (1999), que señala una profundidad máxima de 1.100–1.500 m para un acuífero profundo, lo que concluye al complementar con la interpretación gravimétrica que forma parte del mismo estudio (apartado geofísica).

Otro aspecto analizado por Aguirre (2003) en este sentido, corresponde a la posible conexión entre la cuenca Piedra Parada y la subcuenca de Pedernales, el Río Juncalito. La Figura 7-5 muestra la zona por la que se establece la conexión planteada.

FIGURA 7-5
CONEXIÓN ENTRE PIEDRA PARADA Y SUBCUENCA RÍO JUNCALITO



Fuente: Ref. 2, Dictuc 2008

Los SEV realizados por Aguirre (2003) al Sur de la cuenca de Piedra Parada buscaron evaluar dicha conexión, de las que se interpreta un nivel superficial probablemente seco, de depósitos aluviales con intercalaciones volcánicas (510 ohm-m en SEV 3) que alcanzaría 170 – 210 m de profundidad. Lo infrayace una unidad volcanosedimentaria potencialmente acuífera, cuya profundidad aumenta fuertemente de 630 a 2.000 m hacia el Sur. La pendiente del nivel basal de esta unidad permeable indica la factibilidad de un flujo subterráneo desde Piedra Parada hacia la subcuenca del Río Juncalito, aunque no se ha cuantificado su magnitud.

- **Cuenca Piedra Pómez**

El estudio "Evaluation of the Hydrogeological Interconnection between the Salar de Maricunga and the Piedra Pomez Basins, Atacama Region, Chile; An Isotope and Geochemical Approach", Iriarte et al., 2001, evaluó la conexión entre las cuencas en cuestión a través del cotejo geoquímico e isotópico de sus aguas. Las aguas subterráneas de Piedra Pómez corresponden mayoritariamente al tipo bicarbonatada sódica y clorurada sódica, con un amplio rango de salinidad (400- 4.400 µSm). Las aguas del Río Lamas, en su cabecera, son bicarbonatadas sódicas de baja salinidad (900- 1.100 µSm), y los cursos inferiores cambian a cloruradas sódicas con mayor salinidad (3.000- 4.500 µSm), lo que va acompañado de un aumento en su temperatura.

Aparentemente la mayor salinidad en la parte baja responde a la influencia de ríos tributarios que desembocan en el sector Sur del Río Lamas, y no a un aporte subterráneo de la cuenca de Piedra Pómez.

Por su parte, la alta salinidad (cloruros especialmente), junto con la concentración de bicarbonatos y los valores de isótopos de carbono, se pueden atribuir a actividad volcánica, en este caso asociada al Volcán Nevado Tres Cruces. El nivel de sensibilidad de los datos isotópicos de $\delta^{18}O$ y $\delta^{2}H$, no se consideró suficiente como para evaluar la interacción entre ambas cuencas.

Otra evidencia de su conexión ha sido sostenida por el hecho de que Piedra Pómez tiene una superficie considerable, y aportes mayores de precipitación que sus vecinas del Oeste, por estar a mayor cota, sin embargo, no se aprecia en ésta el desarrollo de cursos de agua superficiales ni napas freáticas someras desde la que se produzcan descargas por evaporación. Todos los pozos construidos en la zona tienen profundidades de napa superiores a 30 m (EDRA, 1999).

En el estudio "Hidrogeología Sector Quebrada Piedra Pómez", desarrollado por EDRA (1999), se observa que la piezometría de los pozos en el campo de Piedra Pómez indica una dirección hacia el Sur, predominantemente hacia el SE. No se descarta completamente que el acuífero más somero drene hacia el SO, donde se encuentra la subcuenca del Río Lamas, aunque se plantean razones de carácter geológico, hidrológico y químico para descartar un aporte sustantivo a este curso superficial.

Los aspectos geológicos del estudio de EDRA (1999) muestran que el límite occidente de la cuenca hidrogeológica de Piedra Pómez está

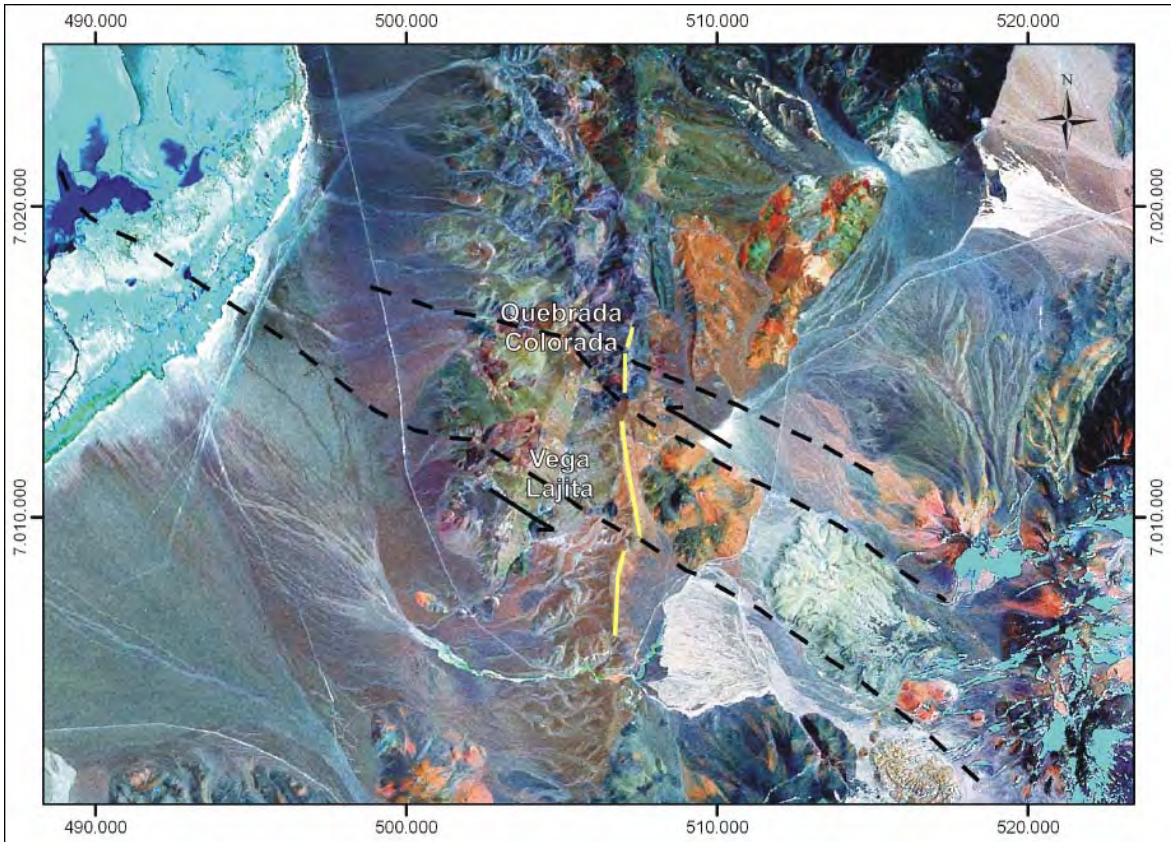
constituido por rocas paleozoicas de la Formación Pantanoso, que se ha reconocido corre hasta unos 30 km al Sur del extremo austral de la Cordillera Claudio Gay. Esta Formación no se aprecia de forma continua en superficie, ya que estaría cubierta por rocas volcánicas pliocénicas, sin embargo, se aprecia continuidad en los afloramientos en superficie de la unidad paleozoica. Esta barrera de macizo rocoso, de características impermeables, indicaría una desconexión entre las cuencas de Piedra Pómez y Salar de Maricunga.

Para el análisis hidrológico se observaron los caudales del Río Lamas. La productividad calculada de la cuenca resultó ser coherente con los caudales aforados en la estación "Río Lamas en El Salto", por lo cual no estaría recibiendo aportes significativos desde cuencas vecinas.

De este modo, es posible plantear que el Río Lamas nace a partir de afloramientos de un acuífero somero, independiente del acuífero estudiado por EDRA (1999) en Piedra Pómez. Es probable que exista un acuífero más profundo en la cuenca del Río Lamas, que estaría desconectado del curso superficial (no es capaz de alterar su química ni sus flujos) y eventualmente conectado con la cuenca hidrogeológica de Piedra Pómez, sin embargo, se requiere de trabajos adicionales para comprobarlo o descartarlo.

Los estudios anteriormente mencionados buscaron establecer una relación entre Piedra Pómez y la subcuenca del Río Lamas, llegando a los resultados descritos en los párrafos precedentes. A pesar de esto, en Sierra Lajitas se observan algunos puntos donde estaría aflorando agua subterránea proveniente del Este. Esto ocurre en Quebrada Colorada, donde la barrera del basamento (rocas paleozoicas y depósitos oligo-miocenos) es más delgada según gravimetría, y en Vega Lajita, donde los flujos provenientes del este se acumularían tras el macizo paleozoico impermeable formando un cauce orientado N-S (Figura 7-6).

FIGURA 7-6
ESTRUCTURAS INDICATIVAS DE CONEXIÓN ENTRE LAS CUENCAS PIEDRA PÓMEZ Y SALAR DE MARICUNGA



Fuente: Ref. 2, Dictuc 2008

Considerando el tectonismo del sector, es posible que existan estructuras que actúen como planos de conexión hidráulica, como se muestra en la figura anterior.

Respecto de la relación entre Piedra Pómez y la subcuenca del Río Juncalito (cuenca Salar de Pedernales), se reconoce una falla de dirección NO–SE que conecta a ambas unidades hidrográficas. La subcuenca del Río Juncalito se caracteriza por conformar un acuífero fisurado (de acuerdo a la clasificación de Struckmeier y Margat, 1995, usada por Aguirre y Venegas, 2005).

En las cabeceras del Río Juncalito y la Quebrada Piedra Pómez, se extiende el Portezuelo del Juncalito, que está constituido por material granular de espesor desconocido, pero que permitiría el paso de agua entre una cuenca y otra. Esta conexión aparece como poco importante debido a lo

angosto de la sección. Ninguno de estos probables pasos se ha estudiado en los antecedentes revisados.

En Maricunga se ha vislumbrado el paso de agua desde la cuenca Laguna del Negro Francisco, a través del relleno sedimentario que las conecta aguas arriba de la Vega Pantanillo y al Norte de la estación fluviométrica "Río Astaburuaga en Cono".

El estudio "Análisis de la Situación Hidrológica e Hidrogeológica de la Cuenca del Salar de Maricunga, III Región. S.D.T. Nº 255", realizado por el Departamento de Estudios y Planificación (DEP) de la DGA en 2006 (Ref. 10), describe la continuidad del mencionado relleno sedimentario y un flujo pasante de 80 l/s.

Cabe mencionar que salvo los flujos estimados desde la cuenca Laguna del Negro Francisco a la cuenca Salar de Maricunga, y los flujos desde la cuenca Salar de Pedernales a la cuenca Río Salado, no se tiene información concreta de otras recargas o descargas entre las unidades estudiadas del Altiplano y sus vecinas.

8. Antecedentes Hidrogeológicos

Los antecedentes hidrogeológicos que han sido recopilados son los siguientes:

8.1. Planos de Construcción de Pozos Ubicados en las Cuencas de Interés

Estos planos de construcción fueron obtenidos de los expedientes de derechos de aguas subterráneas recopilados. En la Figura 4-13 y en el Plano 8-1 se puede ver la ubicación de los pozos que cuentan con plano de construcción. A su vez, en el Documento de Trabajo DOC-4 se incluye cada uno de los planos de construcción recopilados.

8.2. Información de Parámetros Elásticos de los Acuíferos

A través de la recopilación de la información de informes y pruebas de bombeo incluidos en los expedientes de derechos de aguas subterráneas que fueron recopilados, se generó un cuadro con información de valores de transmisibilidad calculadas según diferentes métodos. En aquellos

informes de expedientes en que no se incluía el cálculo del parámetro pero sí los datos de las pruebas de bombeo de gasto constante, se calculó la transmisibilidad a través del software Aquifer Test.

En el Cuadro 8-1 se incluye toda la información recopilada y procesada.

CUADRO 8-1
TRANSMISIBILIDADES Y COEF. DE ALMACENAMIENTO

							Transmisibilidad Bombeo (m2/día)								Transmisibilidad Recuperación (m2/día)				
Nº	Código de Expediente	Nombre Pozo	N.E. (m)	Q (l/s)	N.D. (m)	Δ (m)	no indica	Jacob	Theis	Neuman	Cooper & Jacob	Theis & Jacob	Hantush	Moench	no indica	Jacob	Cooper & Jacob	Theis & Jacob	Coeficiente de Almacenamiento
1	ND-0301-458	Chimberos	2,35	5,02	69,97	67,62	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	0,3
2	ND-0302-497	PPB-3	52,81	100	159,19	106,38	-	-	-	-	1230	-	380	-	-	-	-	1210	0,01
3	ND-0302-486	PPB-19 A	66,68	120	95,07	28,39	-	-	-	-	1280	-	-	-	-	-	-	2.420	0,05
4	ND-0302-488	PPB-1	76,3	100	145,25	68,95	-	-	-	205	2810	-	230	-	-	-	-	1710	0,0004
5	ND-0302-490	PPB-6	57,85	109	138,41	80,56	-	-	-	-	678	-	-	-	-	-	-	1160	0,00033
6	ND-0302-498	PPB-14	100,12	130	102,27	2,15	-	-	31700		40010	-	-	-	-	-	-	44800	0,001
7	ND-0302-493	PPB-12	96,53	30	151,84	55,31	-	-	3.200	3.250	2.760	-	-	-	-	-	-	2.310	0,1
8	ND-0302-495	PPB-18	131,04	43	131,07	0,03	-	-	-	-	881	-	-	-	-	-	-	3300	-
9	ND-0302-494	PPB-23	84,87	120	112,91	28,04	-	-	-	-	3.350	-	-	-	-	-	-	3.750	0,05
10	ND-0302-483	PPB-4	65,8	120	98,81	33,01	-	-	-	414	1.280	-	-	-	-	-	1280	-	0,00149
11	ND-0301-832	Pozo Nº1	16,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	ND-0301-832	Pozo Nº2	15,72	38	19	3,28	1115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	ND-0301-510	SPB-7	78,76	52	121,66	42,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	194	0,01
14	ND-0301-504	SPB-8	90	110	120,03	30,03	-	-	1140	-	2100	-	-	-	-	-	-	950	0,001
15	ND-0301-508	SPB-10	81,53	30	139,66	58,13	-	-	-	53	76	-	61	-	-	-	-	115	0,01
16	ND-0301-505	SPB-13	87,72	121	106,64	18,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.100	0,001
17	ND-0301-507	SPB-14	100	120	115,94	15,94	-	-	-	1160	-	-	1160	-	-	-	-	4720	0,03
18	ND-0301-511	SPB-16	113,84	102	144,39	30,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1850	0,00001
19	ND-0301-506	SPB-1	61,72	7	164,09	102,37	-	-	20	-	40	-	18	-	-	-	-	24	0,0017
20	M-III-125	CM-1	6,8	20	21,6	14,8	-	-	69	-	738	-	-	-	-	-	-	162	-
21	ND-III-216	Pozo Coipa Nº1	13,35	5	29,45	16,1	-	15	-	-	-	-	-	-	-	77	-	-	-
22	VPC-0302-21	MDO-97	62,76	6,36	79,68	16,92	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
23	ND-0301-174	Pedernales PB-6	27,67	120	34,37	16,92	-	-	1.460	-	7.016	-	-	-	-	-	-	7.612	-
24	ND-0301-202	Qda. Asientos N	0,79	20	2,53	1,74	-	-	-	-	-	-	-	-	4520	-	-	-	-
25	ND-0302-487	PPB-8	32,36	30	108,35	75,99				54			73		-		-	76	0,0009
26	ND-0302-484	PPB-9	38,21	20	138,95	100,74	-			47	142		47		-	-	-	127	0,002
27	ND-0302-556	Pozo Nº4	13,8	170	26,11	12,31	-	-	1.166	-	6.532	-	-	-	-	-	-	4.596	-
28	ND-0302-556	Pozo Nº3	18,11	170	30,21	12,1	-	-	1.166	-	19.699	-	-	-	-	-	-	1.719	-
29	ND-0301-767	CBB-16	49,45	35	161,7	112,25	-	-	-	-	200	-	-	-	-	-	-	114	0,01
30	ND-0301-715	PSB-2	118,17	35	149,63	31,46	-	-	107	-	341	1.540	-	-	-	-	-	2.203	0,01
31	ND-0301-759	SGB-8	50,52	50	133,68	83,16	-	-	-	-	-	-	-	343	-	-	-	-	0,01
32	ND-0302-499	NJ-1	3,95	1,54	12,42	8,47	-	-	-	-	110	-	-	-	-	-	-	100	0,15
33	ND-0302-485	PPB-11	73,28	41,6	140	66,72	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	ND-0302-492	PPB-21	70,11	95	112,52	42,41	-	-	200	-	220	-	-	-	-	-	-	470	0,01
35	ND-0302-496	PPB-24	111,85	30	144,54	32,69				-	290	-	-	-	-	-	-	283	-
36	ND-0302-491	PPB-10	57,13	47	129,74	72,61	-	-	-	-	170	-	-	-	-	-	-	569	0,01
37	ND-0302-489	PPB-5	67,49	100	109,15	41,66	-	-	-	-	394	-	-	-	-	-	-	405	ORDEN DE 10^-4
38	ND-III-89	SR-4	21,19	30	30	8,81	328	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	ND-III-89	SR-6	23,2	1	33	9,8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	ND-III-89	SP-2	23,9	30	28	4,1	704	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	ND-III-89	SR-3	7,75	25	17	9,25	260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	ND-0302-90	COD-Nº2	52,89	15	56,58	3,69	475	-	-	-	-	-	-	-	620	-	-	-	0,1
43	ND-0302-193	SP-1	8,3	50	12	3,7	1301	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	ND-0302-193	SR-1	7,7	50	10	2,3	2093	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	ND-0302-194	SP-4	38	140	40,55	37,97	-	-	4.821	-	24.365	-	-	-	-	-	-	29.290	
46	ND-0302-194	SP-3	42,76	140	40,62	44,62	-	-	6.065	-	-	-	-	-	-	-	-		
47	ND-0302-194	SR-2	47,3	55	49	1,7	3114	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	ND-III-60	POZO Nº1	19,7	100	22,18	2,48	3881	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	ND-III-60	POZO Nº2	19,27	100	27,5	8,23	1170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	ND-0302-262	RA-2	18,58	105	27,05	8,47	-	-	907	-	4.821	-	-	-				4.095	-
51	ND-0302-265	RA-3	8,3	45	31,18	22,88	-	-	174	-	1.149	-	-	-				1.590	-
52	ND-III-249	RA-1	12,15	110	25,38	13,23	-	-	535	-	1.322	-	-	-				2.886	-
53	ND-0301-768	SGB-15	29,38	40	88,45	59,07	-	-	-	52	49	-	-	-	-	-	-	83	0,01
54	ND-0301-760	PSB-6	30,78	125	44,165	13,385	-	-	-	770	-	-	-	-	-	-	-	1.700	0,001
55	ND-0301-762	PSB-1	27,51	80	57,65	30,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.940	0,01
56	ND-0301-769	SGB-12	53,98	50	83,63	29,65	-	-	169	-	206	-	-	-	-	-	-	427	0,01
57	ND-III-120	CAN-1	54,62	12	56,2	1,58	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
58	ND-0301-661	Sondaje Nº1	23,25	90	43,79	20,54	-	895	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,028E-07
59	ND-0302-208	CAN-6	23,5	40	55,69	32,19	600	-	-	-	-	-	-	-	300	-	-	-	0,0001
60	ND-301-830	PB-5	30,7	110	37,84	7,14	1.483	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61	ND-301-830	PB-6	24,47	110	32,22	7,75	1.366	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	ND-301-830	PB-7	23,08	100	44,09	21,01	458	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	ND-301-830	J-6	15,5	30	35,2	19,7	147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	ND-301-830	PB-1	15,48	50	22,81	7,33	657	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	ND-301-830	PO-2	22	27	22,3	0,3	8.663	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	ND-301-680	PB-10	19,05	100	31,91	12,86	-	17.599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67**	ND-301-680	PB-11	22,87	20	28,28	5,41	-	-	-	-	2.494	-	-	-	-	-	-	-	0,1

** : Supeditado a declaración de área de restricción Salar de Pedernales(Expdte. ND-0301-680)

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

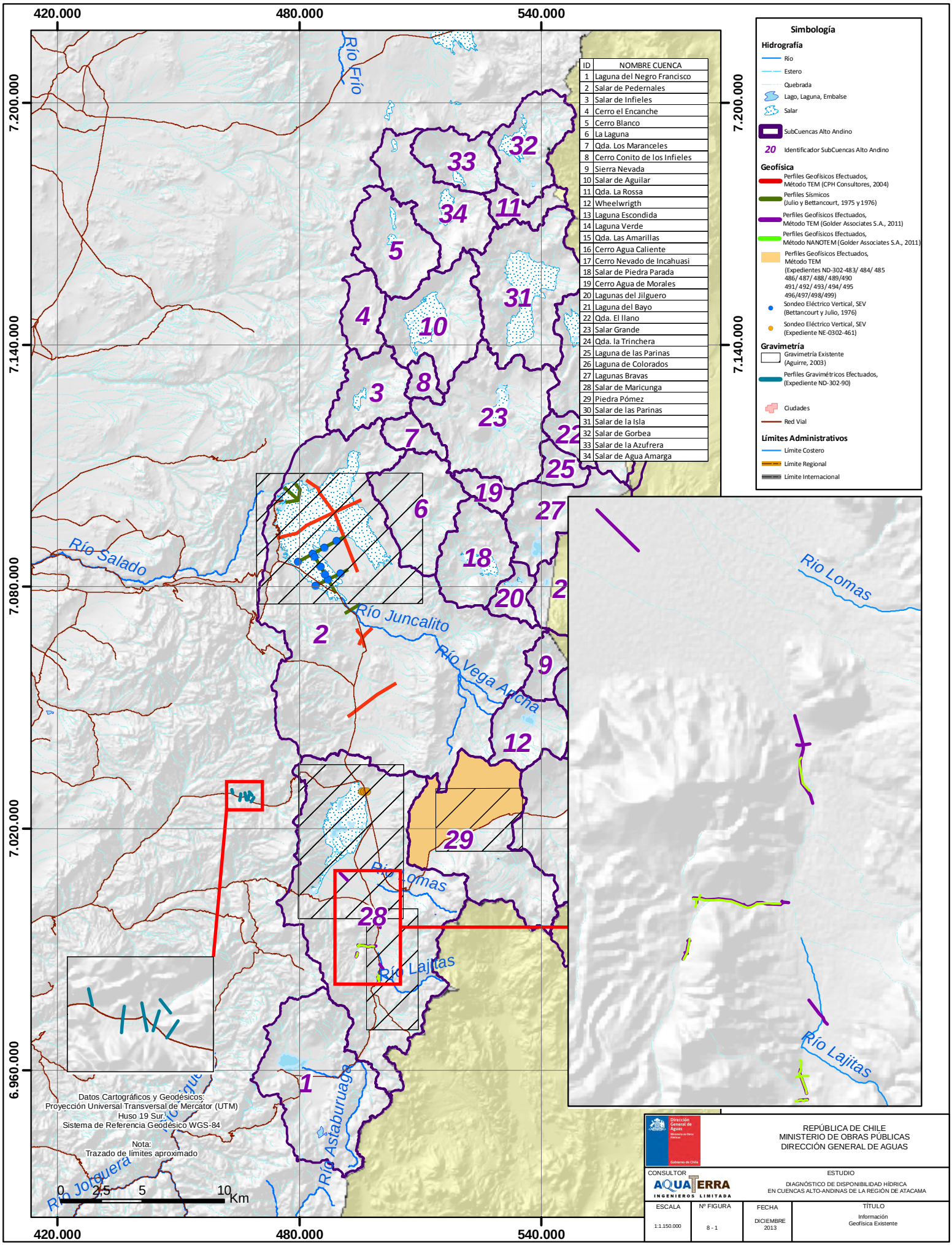
8.3. Capacidad de los Pozos en Zona de Interés

Para efectos de estimar capacidades de los acuíferos de las cuencas de estudio, relacionados con aquellos donde se contaba con información de pruebas de bombeo en pozos existentes, se confeccionó el Plano 3-3 con la siguiente información:

- Nº del Pozo: es el número que se le asignó al pozo en un determinado expediente.
- Fecha: fecha de la medición del nivel estático
- Q (l/s): caudal de la prueba de bombeo de gasto constante efectuada
- NE (m): nivel estático medido en la prueba de gasto constante
- Δ (m): depresión (NE – ND) medida en la prueba de gasto constante
- Qe (l/s/m): caudal específico del pozo

8.4. Geofísica Existente

Se recopiló información de trabajos geofísicos efectuados en las zonas de interés. En la Figura 8-1 se muestra geográficamente toda la información de trabajos geofísicos existentes.



ID	NOMBRE CUENCA
1	Laguna del Negro Francisco
2	Salar de Pedernales
3	Salar de Infieles
4	Cerro el Encanche
5	Cerro Blanco
6	La Laguna
7	Qda. Los Maranceles
8	Cerro Conito de los Infieles
9	Sierra Nevada
10	Salar de Aguilar
11	Qda. La Rossa
12	Wheelwrigth
13	Laguna Escondida
14	Laguna Verde
15	Qda. Las Amarillas
16	Cerro Agua Caliente
17	Cerro Nevado de Incahuasi
18	Salar de Piedra Parada
19	Cerro Agua de Morales
20	Lagunas del Jilguero
21	Laguna del Bayo
22	Qda. El llano
23	Salar Grande
24	Qda. la Trinchera
25	Laguna de las Parinas
26	Laguna de Colorados
27	Lagunas Bravas
28	Salar de Maricunga
29	Piedra Pómez
30	Salar de las Parinas
31	Salar de la Isla
32	Salar de Gorbea
33	Salar de la Azufrera
34	Salar de Agua Amarga

8.5. Isotopía Existente

Toda la información de análisis isotópico de aguas subterráneas y superficiales se ha plasmado en el Anexo 8-1. Toda la información existente se ha extraído de los estudios de la Ref. 2 (Dictuc) y del trabajo de la Ref. 18 (EIA Lobo Norte).

8.6. Niveles de Aguas Subterráneas Históricas

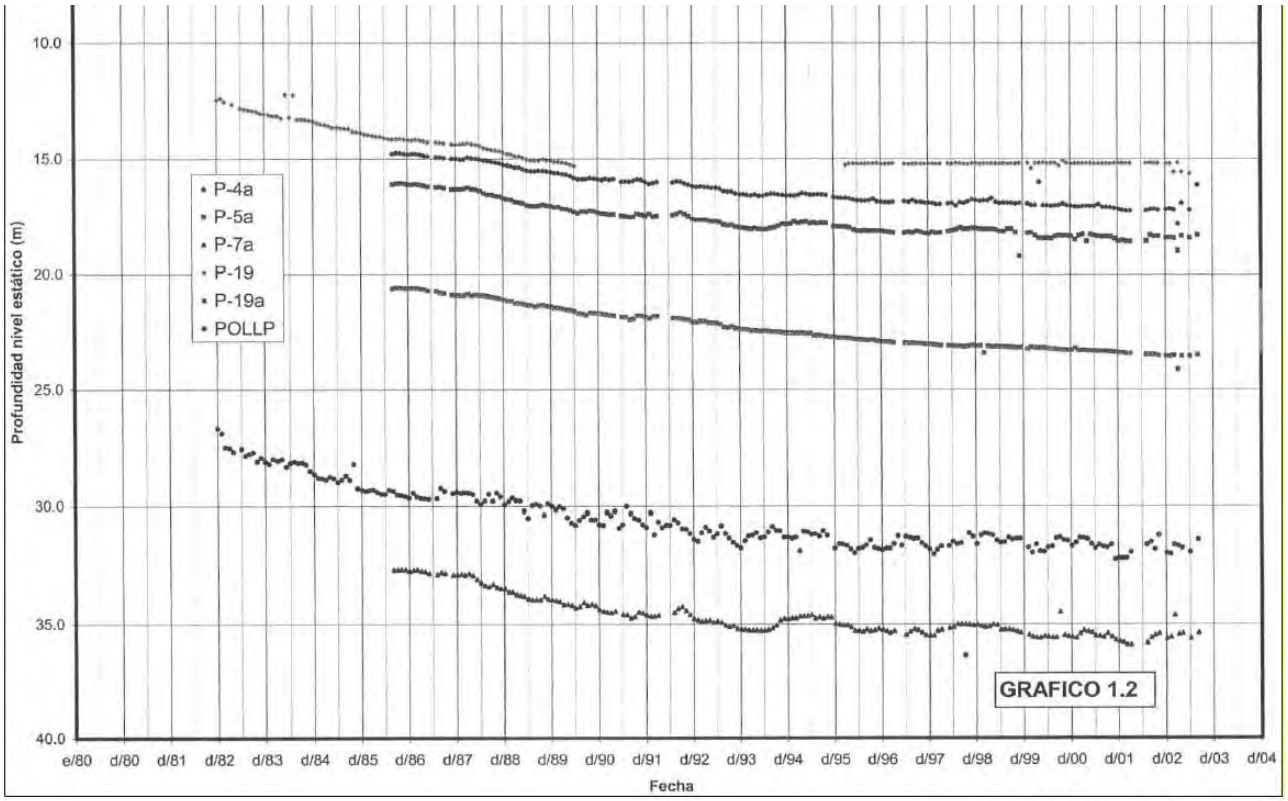
La información de niveles de agua subterránea en el área de estudio se tradujo a la que fue recopilada en las pruebas de bombeo de los pozos ubicados en el área de interés y aquella incluida en estudios anteriores efectuados.

Es importante destacar que ninguna empresa minera de la zona de estudio entregó información relacionada con mediciones históricas de niveles de agua subterránea. Tampoco proporcionaron datos históricos de caudales de bombeo desde los pozos de propiedad de las mineras consultadas.

La información puntual de mediciones de agua subterránea se puede ver en el Plano 8-1.

Respecto a limnigramas de niveles de agua subterránea, sólo se cuenta con información de pozos ubicados en el sector del Llano de Pedernales Sur (pozos de Codelco, **Ref. 33:** Estudio de Modelación Matemática Hidrogeológica Cuenca del Salar de Pedernales. CPH Consultores Ltda., 2004). En la Figura 8-2 se muestran los limnigramas señalados.

FIGURA 8-2
LIMNIGRAMAS POZOS EN LLANO DE PEDERNALES SUR
(Pozos Codelco)



Fuente: [CPH, Consultores, 2004]

Se puede observar que desde el año 1982, fecha a partir de la cual se cuenta con datos de niveles estáticos, los niveles de agua subterránea han sufrido un descenso sostenido en el tiempo (aproximadamente 3 m en 16 años, 0,2 m por año), tendiendo a estabilizarse en los últimos años (2002 – 2003).

En este caso en particular, se puede decir que el acuífero asociado a la zona señalada, ha experimentado sólo vaciamientos de los volúmenes de almacenamiento, producto principalmente del bombeo de los pozos de Codelco.

Por otro lado, se cuenta con información de niveles históricos en 2 pozos de propiedad de Andina Minerals y que se localizan en el sector de Ciénaga Redonda, dentro de la cuenca del Salar de Maricunga. A continuación se muestra la información recopilada.

Niveles Estáticos Históricos

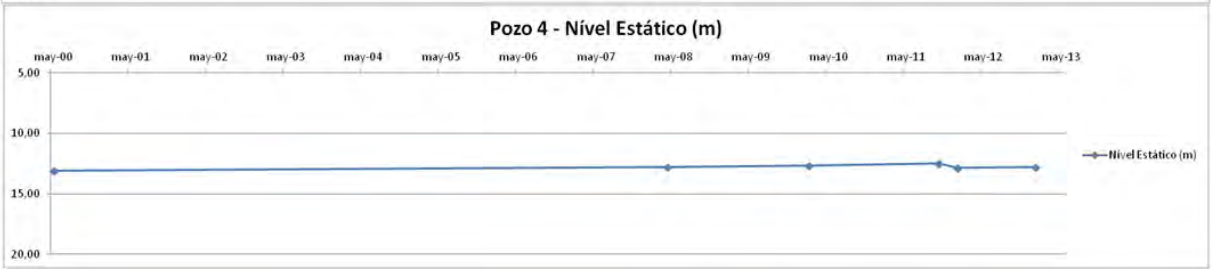
Pozos 3 y 4 – Sector Ciénaga Redonda Z2 (Andina Minerals Chile Ltda)



	Pozo 3		Pozo 4	
	Fecha	Nivel Estático (m)	Fecha	Nivel Estático (m)
*	01-05-2000	17,46	03-05-2000	13,09
	17-04-2008	16,43	07-04-2008	12,80
	26-02-2010	16,51	26-02-2010	12,66
	29-10-2011	16,26	29-10-2011	12,47
	14-01-2012	16,71	14-01-2012	12,83
	14-01-2013	16,55	14-01-2013	12,80

•El Nivel estático del año 2000 son de la construcción de los pozos pero no hay registro de la altura de referencia medida.
•Los registros desde 2008 corresponden a las mediciones realizadas por Andina Minerals.





Fuente: Ref. 18, Reinicio y Expansión Proyecto Lobo Marte, Kinross – Amec, 2011

Se observa que los niveles estáticos permanecen con muy pocas variaciones durante el período 2000 – 2013.

9. Priorización de Subcuencas para Estudio Detallado

Se procede a priorizar 8 cuencas de entre las 34 de estudio, con el objetivo de realizar un análisis de balances hídricos detallados en esas 8 cuencas escogidas.

Las variables que han sido tomadas en cuenta son las siguientes:

- **Variable Física**

a) Área Total de la Cuenca

Esta variable es importante debido a que define en cierta medida el potencial de recarga que existe.

- **Variable Hidrológica. Oferta Hídrica**

Corresponde a la escorrentía superficial calculada según la metodología desarrollada.

- **Demandas de Agua**

Las demandas de agua han sido consideradas como los volúmenes de agua asociados a los derechos de aguas subterráneas y superficiales constituidas.

- **Proyectos Mineros Existentes**

En función de las revisión de los EIA (obtenidos del SEA), se ha identificado los diferentes proyectos mineros existentes en la zona de estudio. Este parámetro da cuenta de la relevancia en términos estratégicos (de demandas, probables impactos ambientales, etc.) de una determinada subcuenca.

- **Formaciones Vegetacionales**

En función del estudio denominado "Estudio de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos del Altiplano", Biota Gestión y Consultorías Ambientales Ltda., SAG, 2007, se identificaron las formaciones vegetacionales existentes en las áreas alto andinas de la III Región. Este parámetro tiene importancia debido a la demanda evapotranspirativa que se produce y a la fragilidad ambiental de la cuenca correspondiente.

- **Variables Compuestas**

Oferta Hídrica Mínima= OH
Demandas (DDAS)= f x DSUP + g x DSUB; f= 0,4; g= 0,6
Nº de Proyectos Mineros (PRM)
Formaciones Vegetacionales (FG)= 0,3 es que posee alguna formación vegetacional identificada, 0,6 significa que posee 2 formaciones vegetacionales y 1 es que tiene más de 2 formaciones vegetacionales.

- **Indicador Compuesto (IC) para Priorización de Cuencas**

A partir de las relaciones anteriores, es factible componer un índice cualitativo que permitiría, en forma relativa, comparar todas las cuencas entre sí para su selección y priorización, de modo de desarrollar un análisis más profundo relacionado con balances y análisis de disponibilidad hídrica.

IC= A x OH + B x DDAS + C x PRM + D x FG; (A+B+C+D= 1)

A= 0,3
B= 0,2
C= 0,3
D= 0,2

Es importante destacar que el valor de cada una de las variables identificadas, se normalizaron dividiéndolas cada una por el mayor valor de la variable correspondiente.

En el Cuadro 9-1 se incluyen los valores asignados a cada una de las variables antes descritas

CUADRO 9-1
PARÁMETROS PARA PRIORIZACIÓN DE CUENCAS

Cuenca Nº	Nombre	Oferta	Demandas Derechos		Proyectos	Formaciones	Índice
			Sub (l/s)	Sup (l/s)	Mineros	Vegetacionales	Compuesto
28	Salar de Maricunga	1,000	1,000	0,173	1,0	1	0,9339
2	Salar de Pedernales	0,940	0,643	0,000	0,8	0,6	0,7291
29	Qda. Nevados del Jucalitos	0,325	0,936	0,000	0,2	1	0,4597
1	Laguna del Negro Francisco	0,536	0,000	0,000	0,2	1	0,4109
14	Laguna Verde	0,821	0,000	1,000	0,2	0	0,3764
34	Salar de Agua Amarga	0,256	0,025	0,004	0,3	0	0,1802
32	Salar de Gorbea	0,111	0,095	0,009	0,3	0	0,1454
33	Salar de la Azufrera	0,102	0,123	0,000	0,3	0	0,1453
6	La Laguna	0,163	0,316	0,000	0,2	0	0,1369
31	Salar de la Isla	0,260	0,000	0,000	0,2	0	0,1281
23	Salar Grande	0,340	0,000	0,000	0,0	0	0,1021
5	Cerro Blanco	0,168	0,000	0,000	0,2	0	0,1004
30	Salar de las Parinas	0,246	0,000	0,000	0,0	0	0,0737
27	Lagunas Bravas	0,220	0,000	0,000	0,0	0	0,0660
11	Qda. La Rosa	0,043	0,000	0,000	0,2	0	0,0628
10	Salar de Aguilar	0,175	0,000	0,000	0,0	0	0,0525
21	Laguna del Bayo	0,168	0,000	0,000	0,0	0	0,0504
12	Wheelwrigth	0,152	0,000	0,000	0,0	0	0,0456
26	Laguna de Colorados	0,143	0,000	0,000	0,0	0	0,0430
18	Salar de Piedra Parada	0,141	0,000	0,000	0,0	0	0,0423
13	Laguna Escondida	0,111	0,000	0,000	0,0	0	0,0332
15	Qda. Las Amarillas	0,088	0,000	0,000	0,0	0	0,0265
3	Salar de Infieles	0,080	0,000	0,000	0,0	0	0,0241
20	Lagunas del Jilguero	0,063	0,000	0,000	0,0	0	0,0189
25	Laguna de las Parinas	0,059	0,000	0,000	0,0	0	0,0178
9	Sierra Nevada	0,050	0,000	0,000	0,0	0	0,0149
4	Cerro el Encanche	0,050	0,000	0,000	0,0	0	0,0149
22	Qda. El llano	0,043	0,000	0,000	0,0	0	0,0128
8	Cerro Conito de los Infiele	0,033	0,000	0,000	0,0	0	0,0100
7	Qda. Los Maranceles	0,028	0,000	0,000	0,0	0	0,0085
19	Cerro Agua de Morales	0,028	0,000	0,000	0,0	0	0,0084
24	Qda. la Trinchera	0,025	0,000	0,000	0,0	0	0,0076
16	Cerro Agua Caliente						
17	Cerro Nevado de Incahuasi						
	CUENCAS PRIORIZADAS						
Nota	Cuencas Nº 16 y 17 drenan sus aguas hacia el territorio						
	argentino, por lo que no serán estudiadas						

Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

De acuerdo con los resultados anteriores, se ha creído conveniente priorizar 9 en vez de las 8 que se habían solicitado, debido a que la novena cuenca priorizada, La Laguna, es importante estudiarla ya que en su interior hay 5 pozos de la denominada Minera Casale.

Así, las cuencas priorizadas son las siguientes:

a) Salar de Maricunga
b) Salar de Pedernales
c) Qda. Nevados de Jucalitos (Piedra Pómez)
d) Laguna del Negro Francisco
e) Laguna Verde
f) Salar de Agua Amarga
g) Salar de Gorbea
h) Salar de la Azufrera
i) La Laguna

10. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS CUENCAS PRIORIZADAS

Cada uno de los capítulos que a continuación se desarrollan, se presentan por cuenca priorizada, de Norte a Sur, a saber:

- Salar de Gorbea (Nº 32)
- Salar de la Azufrera (Nº 33)
- Salar de Agua Amarga (34)
- La Laguna (6)
- Salar de Pedernales (2)
- Laguna Verde (Nº 14)
- Quebrada Nevados de Juncalito (Piedra Pómez, Nº 29)
- Salar de Maricunga (28)
- Laguna del Negro Francisco (Nº 1)

10.1. Geología

10.1.1. Cuenca Nº 32. Salar de Gorbea

a) Marco Geológico

Conforme a los antecedentes recabados y analizados, se estructuró el mapa geológico que se adjunta. En éste, se presentan los tipos litológicos existentes en la cuenca de acuerdo a sus características petrográficas y cronológicas.

Conjuntos volcánicos

- Conjunto Volcánico III (NvIII) (Mioceno medio – superior, 15 – 10 M.a.)
  Estratovolcanes compuestos de grandes dimensiones, mediana a débilmente erosionados. Ocasionalmente, presentan calderas de avalancha y domos. Morfologías superficiales de lavas preservadas. Se encuentran en el extremo Oeste de la cuenca.

- Conjunto Volcánico IV (NvIV) (Mioceno superior – Plioceno inferior, 8,7 - 3,5 M.a.)
  Estratovolcanes y conos de escoria, predominantemente de dimensiones pequeñas, débil a muy débilmente erosionados. Lavas voluminosas, medianamente porfídicas, con morfologías superficiales bien preservadas y de gran razón de aspecto. Se encuentra distribuido en toda la cuenca.

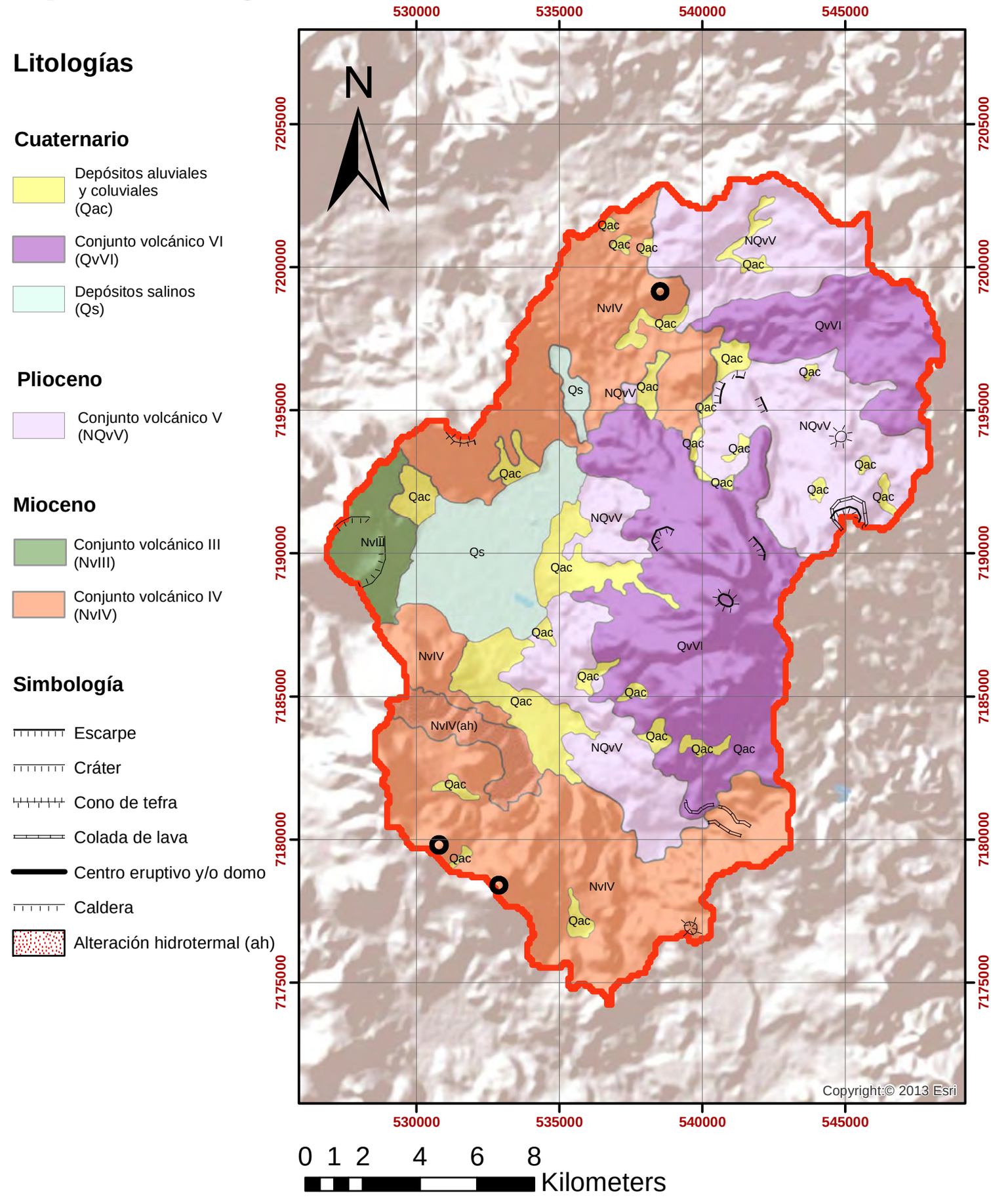
- Conjunto volcánico V (NQvV) (Plioceno superior – Pleistoceno inferior, 3,5 – 1 M.a.)

  Lavas y domos moderadamente porfídicos, con morfología superficial bien preservada. Andesitas y dacitas de piroxeno y biotita, ocasionalmente hornblenda. Se encuentran principalmente en el sector este de la cuenca.

- Conjunto volcánico VI (QvVI) (Cuaternario, ca.< 1 M.a.)

  Estratovolcanes compuestos de grandes dimensiones, lavas, conos de escoria y domos, no erosionados, con morfologías superficiales intactas de lavas y depósitos de flujos piroclásticos. Andesitas y dacitas de piroxeno y biotita, además de dacitas de hornblenda y biotita. Se encuentran en el sector este de la cuenca.

Mapa Geológico Cuenca N°32: Salar de Gorbea



Referencia Bibliográfica
Naranjo, J.A., Cornejo, P. Hoja Salar de la Isla, 1992, Regiones de Antofagasta y Atacama Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile N°72

Sistema de coordenadas
Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 19S, WGS84

Figura 1. Geología cuenca N°32 Salar de Gorbea

Depósitos no consolidados

- Depósitos aluviales y coluviales (Qac) (Cuaternario)
  Compuesto por bloques, gravas y arenas, con materiales finos, principalmente cenizas, arcillas y sales. Se encuentran distribuidos en toda la cuenca.

- Depósitos salinos (Qs) (Cuaternario)
  Depósitos en lagunas y áreas frecuentemente inundadas, con corteza salina de superficie suave a rugosa, húmeda a seca, principalmente cloruros y sulfatos. Incluye depósitos lacustres de arenas, limos y capas de yeso en márgenes de salares antiguos. Se ubican en la zona centro de la cuenca.

Estructuras

De acuerdo al mapa geológico del SERNAGEOMIN utilizado, no se aprecian fallas en la cuenca. Se observan escarpes, cráteres y calderas asociadas a los conjuntos volcánicos.

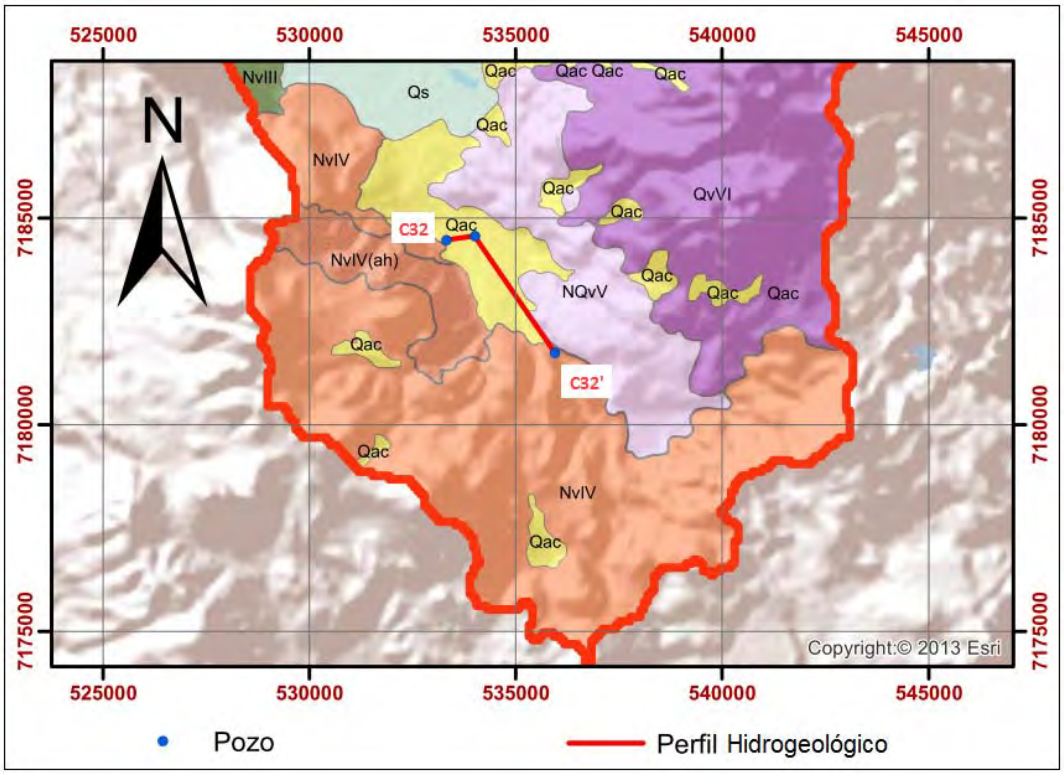
a) Perfiles Hidrogeológicos

De acuerdo a la información aportada por las descripciones estratigráficas de los pozos SGB-8, SGB-12 y SGB-15 (Cuadro 10.1-1), se trazó el Perfil hidrogeológico C32-C32' Cuenca salar de Gorbea (Figura 10.1-1). Éste posee una orientación noroeste-sureste y una longitud de 4,122 km.

CUADRO 10.1-1
COORDENADAS Y COTA DE LOS POZOS DEL PERFIL HIDROGEOLÓGICO C32-C32'

Nombre Pozo	Coordenadas (Datum WGS84, huso 19S)		Cota (m s.n.m.)
	Norte (m)	Este (m)	
SGB-8	7.184.459	533.312	4.023
SGB-12	7.184.562	533.998	3.995
SGB-15	7.181.739	535.946	4.097

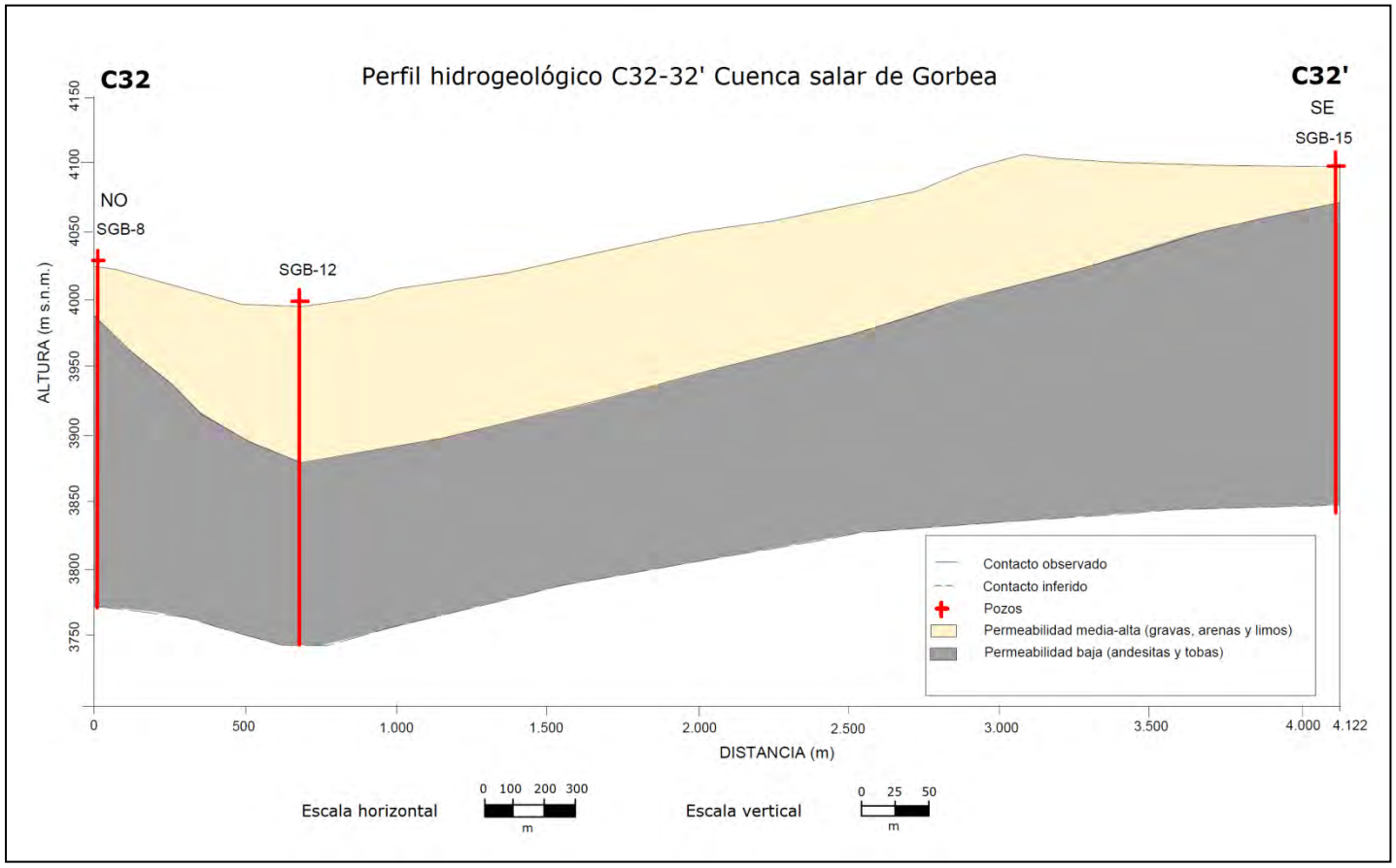
FIGURA 10.1-1
UBICACIÓN PERFIL HIDROGEOLÓGICO C32-C32'
CUENCA SALAR DE GORBEA



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

Con la estructuración de dicho perfil, se identifica un acuífero en la unidad conformada por gravas, arenas y limos, de permeabilidad media-alta, de espesor entre 50 y 100 m, aproximadamente (Ver Figura 10.1-2). Su base está constituida de una unidad de baja permeabilidad, compuesta de andesitas y tobas, de al menos 200 m de potencia.

FIGURA 10.1-2
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C32-C32' CUENCA SALAR DE GORBEA



Fuente: Elaboración Propia; Aquaterra Ing. Ltda.

10.1.2. Cuenca N° 33. Salar Azufrera

a) Marco Geológico

Conforme a los antecedentes recabados y analizados, se estructuró el mapa geológico que se adjunta. En éste, se presentan los tipos litológicos existentes en la cuenca de acuerdo a sus características petrográficas y cronológicas.

Mapa Geológico Cuenca N°33: Salar de la Azufrera

Litologías

Cuaternario

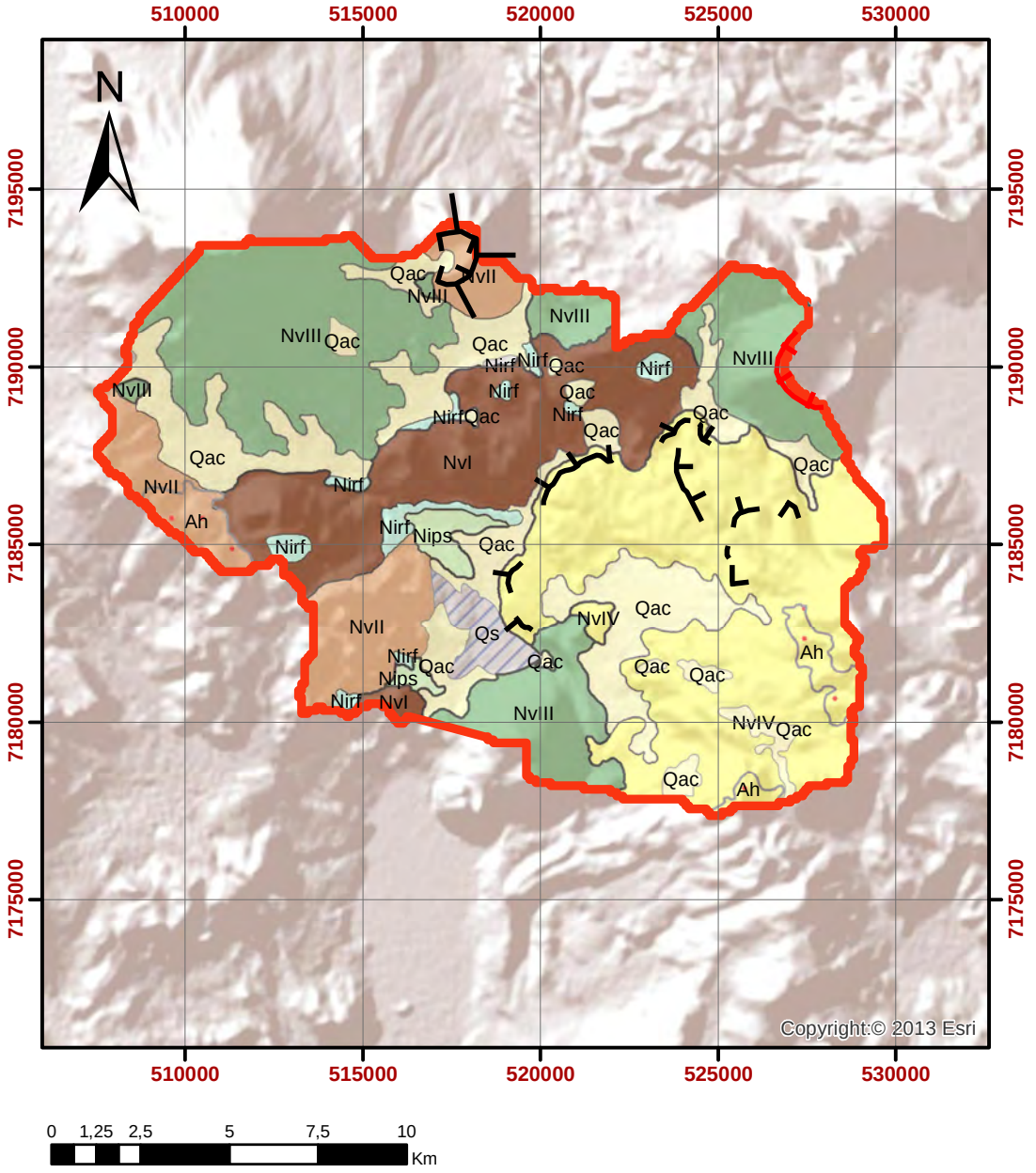
- Depósitos aluviales y coluviales (Qac)
- Depósitos salinos (Qs)

Mioceno

- Ignimbrita Plato Superior (Nips)
- Ignimbritas Río Frío (Nirf)
- Conjunto Volcánico IV (NvIV)
- Conjunto Volcánico III (NvIII)
- Conjunto Volcánico II (NvII)
- Conjunto Volcánico I (NvI)

Simbología

- Cono de tefra
- Escarpe
- Cráteres y calderas volcánicas
- Alteración hidrotermal



Referencias

J. Naranjo, P. Cornejo. 1992, Hoja Salar de La Isla, Regiones de Antofagasta y Atacama, Carta Geológica N° 72. Mapa escala 1:250.000

Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 19S, WGS1984

Figura 1. Geología cuenca N°33 Salar de la Azufrera

Conjuntos volcánicos

- Conjunto Volcánico I (NvI) (Oligoceno – Mioceno inferior, 24 – 19 M.a.)
  Estratovolcanes profundamente erosionados, lavas altamente porfídicas, cuellos y diques. Ocasionalmente esqueletos de calderas o sommas. Se encuentran en el centro de la cuenca.

- Conjunto Volcánico II (NvII) (Mioceno inferior – medio, 18,5 – 15 M.a.)
  Estratovolcanes medianamente erosionados, lavas altamente porfídicas y brechas, con morfologías superficiales parcialmente preservadas. Ocasionalmente se reconocen calderas y depósitos de avalanchas volcánicas. Se encuentran distribuidos en el sector Oeste de la cuenca.

- Conjunto Volcánico III (NvIII) (Mioceno medio – superior, 15 – 10 M.a.)
  Estratovolcanes compuestos de grandes dimensiones, mediana a débilmente erosionados. Ocasionalmente, presentan calderas de avalancha y domos. Morfologías superficiales de lavas preservadas. Se encuentran distribuidos en toda la cuenca.

- Conjunto Volcánico IV (NvIV) (Mioceno superior – Plioceno inferior, 8,7 - 3,5 M.a.)
  Estratovolcanes y conos de escoria, predominantemente de dimensiones pequeñas, débil a muy débilmente erosionados. Lavas voluminosas, medianamente porfídicas, con morfologías superficiales bien preservadas y de gran razón de aspecto. Se encuentran en el sector este de la cuenca.

Rocas Estratificadas

- Ignimbrita Río Frío (Nirf) (Mioceno inferior - medio , 23 – 17 M.a.)
  Tobas dacíticas, ricas en cristales de plagioclasa, anfíboles, biotita y piroxenos, rosáceas y grises, de bases vitrofíricas negras, intensamente soldadas en toda su extensión, con abundantes fiammes, localmente niveles ricos en pómez (bombas). Se encuentran en el centro de la cuenca.

- Ignimbrita Plato Superior (Nips) (Mioceno medio – superior, 13,5 – 12,5 M.a.)
  Toba dacítica, rica en cristales de plagioclasa, anfíboles y biotita, pómez desvitrificadas (lapilli fino a medio) y líticos, rosácea, moderada a medianamente soldada. Se encuentran en la zona centro–sur de la cuenca.

Depósitos no consolidados

- Depósitos aluviales y coluviales (Qac) (Cuaternario)
  Compuesto por bloques, gravas y arenas, con materiales finos, principalmente cenizas, arcillas y sales. Se encuentran distribuidos en toda la cuenca.

- Depósitos salinos (Qs) (Cuaternario)
  Depósitos en lagunas y áreas frecuentemente inundadas, con corteza salina de superficie suave a rugosa, húmeda a seca, principalmente cloruros y sulfatos. Incluye depósitos lacustres de arenas, limos y capas de yeso en márgenes de salares antiguos. Se encuentran en la zona centro–sur de la cuenca.

Estructuras

De acuerdo al mapa geológico del SERNAGEOMIN utilizado, no se aprecian fallas en la cuenca. Se observan escarpes, cráteres y calderas asociadas a los conjuntos volcánicos.

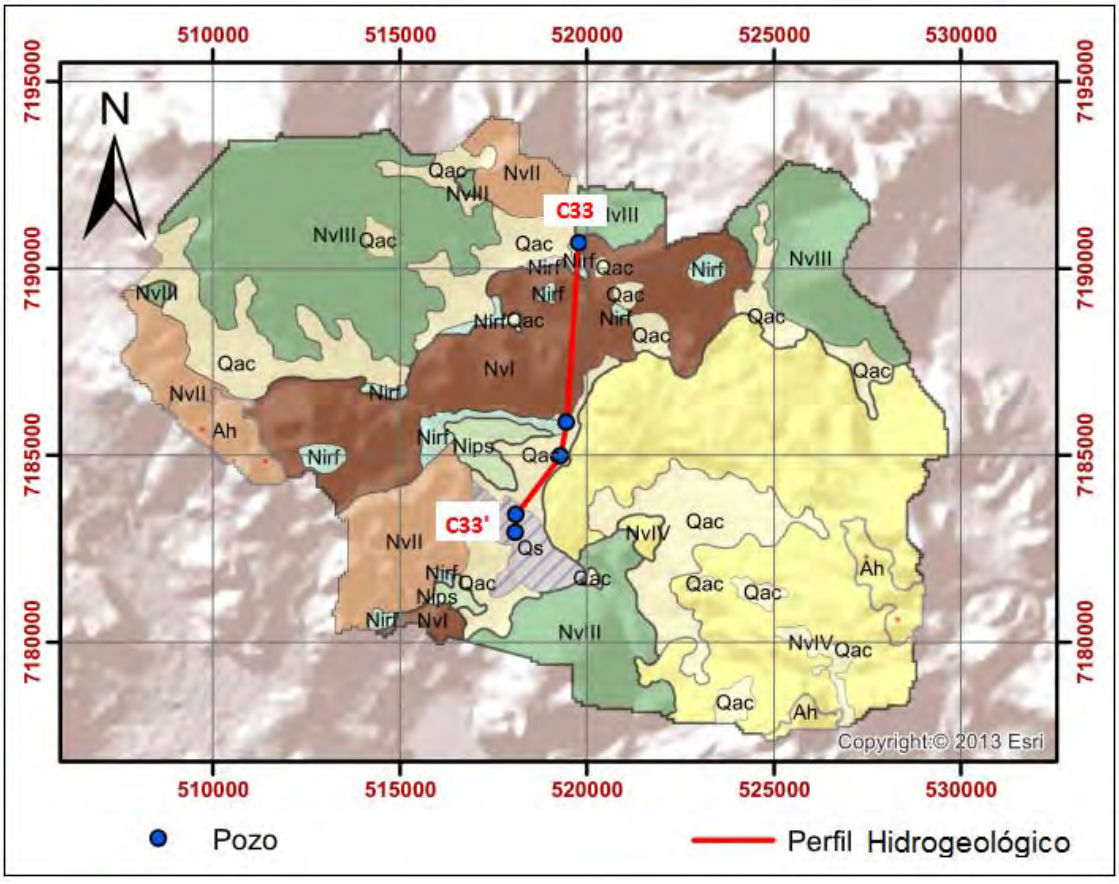
b) Perfiles Hidrogeológicos

De acuerdo a la información aportada por las descripciones estratigráficas de los pozos PSB-2, PSB-6, PSB-1, Pozo Azufrero 1 y Pozo Azufrero 2 (Cuadro 10.1-2), se trazó el Perfil hidrogeológico C33-C33’ en la cuenca salar de la Azufrera (Figura 10.1-3). Éste posee una orientación norte-sur y una longitud de un poco más de 8 km.

CUADRO 10.1-2
COORDENADAS Y COTA DE POZOS DEL PERFIL HIDROGEOLÓGICO C33-C33'

Nombre Pozo	Coordenadas (Datum WGS84, huso 19S)		Cota (m s.n.m.)
	Norte (m)	Este (m)	
PSB-2	7.190.681	519.794	3.736
PSB-6	7.185.874	519.465	3.643
PSB-1	7.184.970	519.303	3.635
Pozo Azufrero 1	7.183.407	518.117	3.593
Pozo Azufrero 2	7.182.922	518.098	3.593

FIGURA 10.1-3
UBICACIÓN PERFIL HIDROGEOLÓGICO C33-C33'
CUENCA SALAR DE LA AZUFRERA

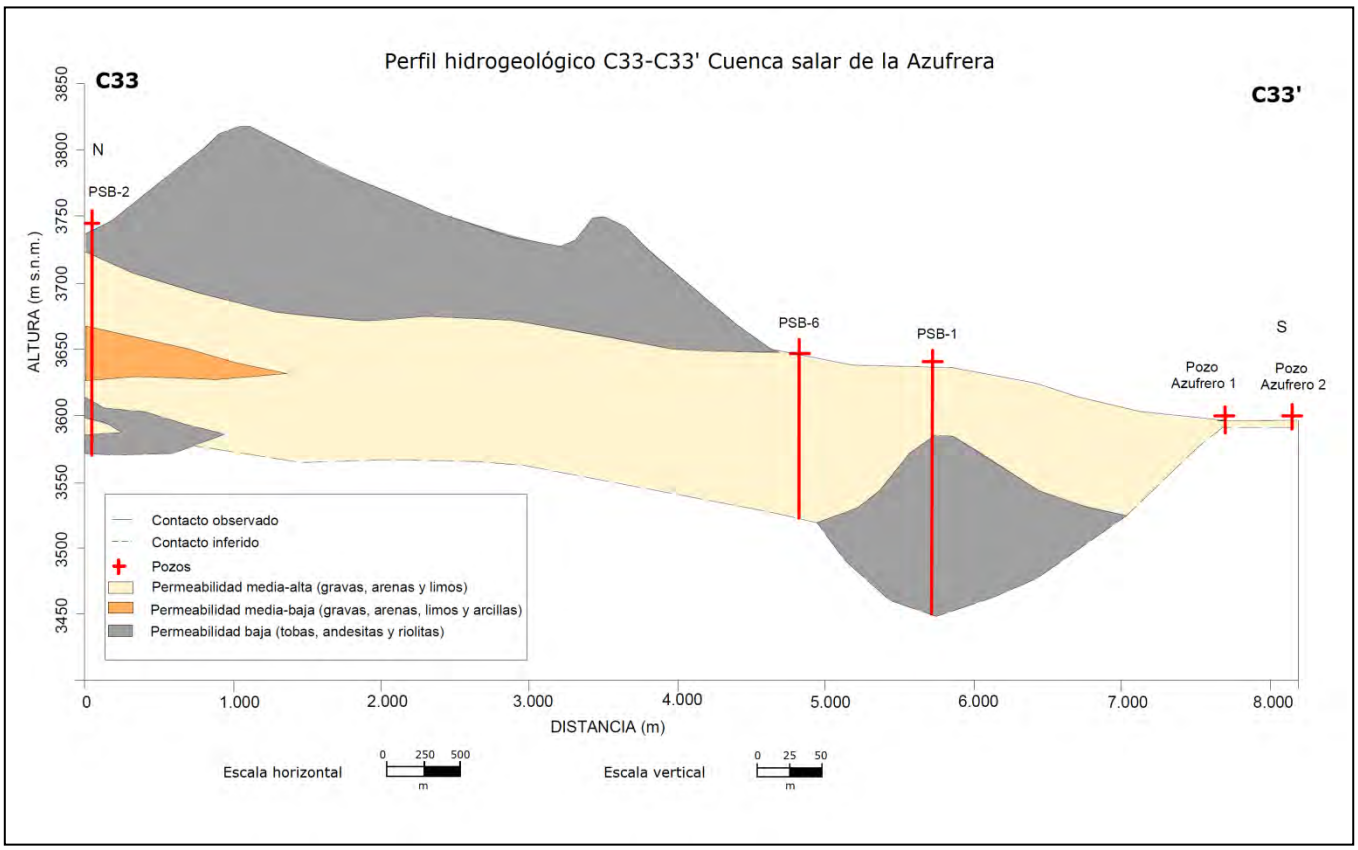


Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

Con la estructuración de dicho perfil, se identifica un acuífero en la unidad conformada por gravas, arenas y limos, de permeabilidad media-alta, de espesor promedio 100 m aproximadamente (Ver Figura 10.1-4).

En el sector Norte del perfil, se observa una unidad compuesta por tobas sobre la unidad de permeabilidad media-alta. Dentro de esta última, se encuentra un lente de permeabilidad media-baja -correspondiente a gravas, arenas, limos y arcillas- y en su base, tobas, andesitas y riolitas de permeabilidad baja. Hacia el Sur, se vuelve a observar la unidad de permeabilidad baja subyaciendo al acuífero.

FIGURA 10.1-4
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C33-C33'
CUENCA SALAR DE LA AZUFRERA



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

10.1.3. Cuenca Nº 34. Salar de Agua Amarga

a) Marco Geológico

Conforme a los antecedentes recabados y analizados, se estructuró el mapa geológico que a continuación se adjunta. En éste se presentan los tipos litológicos existentes en la cuenca de acuerdo a sus características petrográficas y cronológicas.

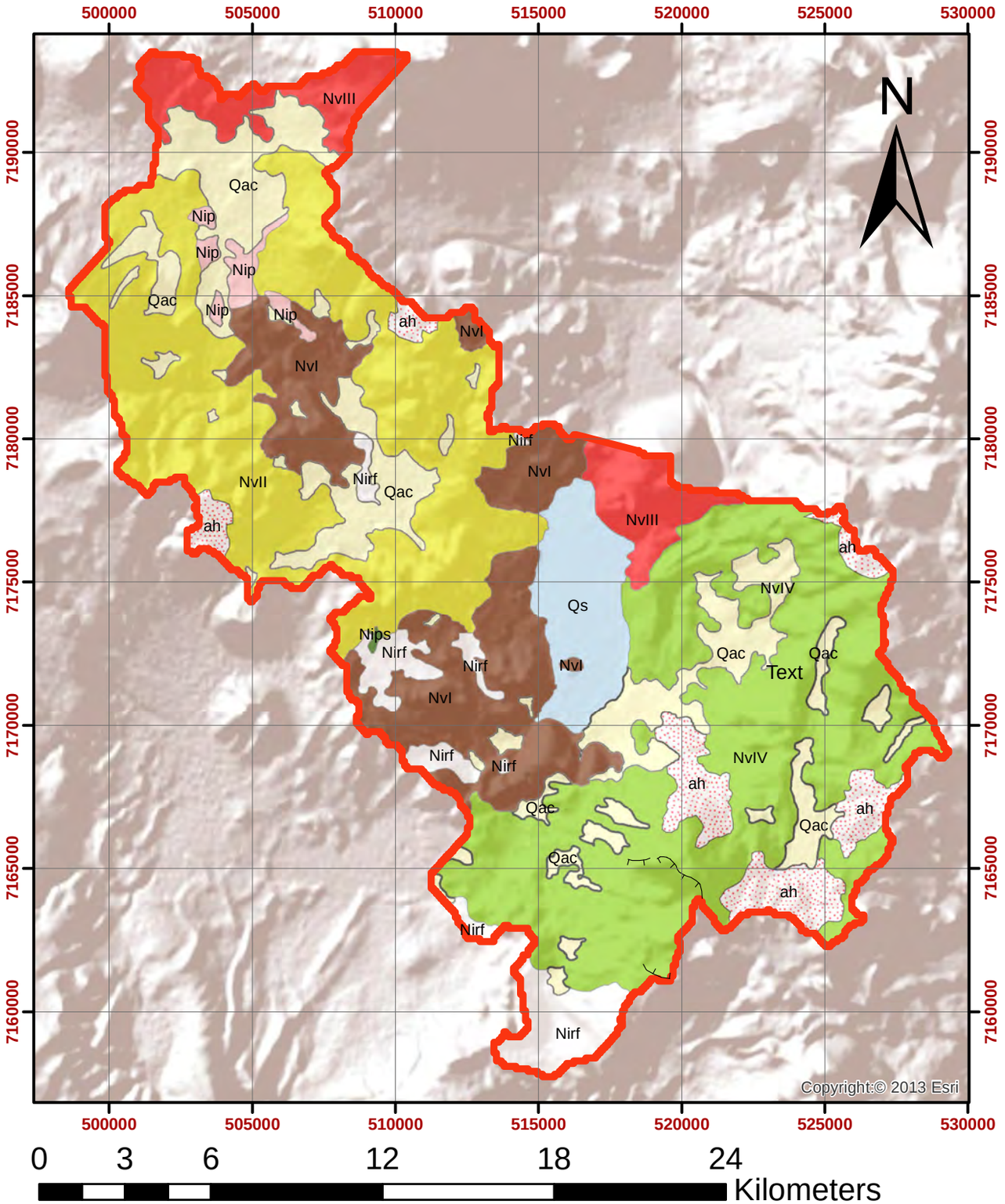
Conjuntos volcánicos

- Conjunto Volcánico I (NvI) (Oligoceno – Mioceno inferior, 24 – 19 M.a.)
  Estratovolcanes profundamente erosionados, lavas altamente porfídicas, cuellos y diques. Ocasionalmente esqueletos de calderas o sommas. Se encuentran en la zona central de la cuenca.

- Conjunto Volcánico II (NvII) (Mioceno inferior – medio, 18,5 – 15 M.a.)
  Estratovolcanes medianamente erosionados, lavas altamente porfídicas y brechas, con morfologías superficiales parcialmente preservadas. Ocasionalmente se reconocen calderas y depósitos de avalanchas volcánicas. Abarca aproximadamente un 35% de la cuenca y se encuentra en el sector Norte.

- Conjunto Volcánico III (NvIII) (Mioceno medio – superior, 15 – 10 M.a.)
  Estratovolcanes compuestos de grandes dimensiones, mediana a débilmente erosionados. Ocasionalmente, presentan calderas de avalancha y domos. Morfologías superficiales de lavas preservadas. Se encuentra al centro y al Norte de la cuenca.

- Conjunto Volcánico IV (NvIV) (Mioceno superior – Plioceno inferior, 8,7 - 3,5 M.a.)
  Estratovolcanes y conos de escoria, predominantemente de dimensiones pequeñas, débil a muy débilmente erosionados. Lavas voluminosas, medianamente porfídicas, con morfologías superficiales bien preservadas y de gran razón de aspecto. Se encuentra en la zona sureste de la cuenca.



Mapa Geológico Cuenca N°34: Salar de Agua Amarga

Litologías

Cuaternario

- Depósitos aluviales y coluviales (Qac)
- Depósitos salinos (Qs)

Mioceno

- Conjunto Volcánico IV (NvIV)
- Conjunto Volcánico III (NvIII)
- Ignimbrita Plato Superior (Nips)
- Ignimbrita Pajonales (Nip)
- Conjunto Volcánico II (NvII)
- Ignimbrita Río Frío (Nirf)
- Conjunto Volcánico I (NvI)

Simbología

- Escarpe
- Alteración hidrotermal (ah)

Referencias

Naranjo. J. A., Cornejo. P. 1992, Hoja Salar de la Isla, Regiones de Antofagasta y Atacama, Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, No 72.

Escala 1:200.000 Datum: WGS 1984 19S

Figura 1. Geología cuenca N°34 Salar de Agua Amarga

Rocas Estratificadas

- Ignimbrita Río Frío (Nirf) (Mioceno inferior - medio, 23 – 17 M.a.)
  Tobas dacíticas, ricas en cristales de plagioclasa, anfíboles, biotita y piroxenos, rosáceas y grises, de bases vitrofíricas negras, intensamente soldadas en toda su extensión, con abundantes fiammes, localmente niveles ricos en pómez (bombas). Se encuentra distribuido en l zona Sur de la cuenca.

- Ignimbrita Pajonales (Nip) (Mioceno inferior – medio, 16,5 – 15 Ma)
  Tobas dacíticas de cenizas y cristales de plagioclasa, anfíboles, biotita y piroxenos, rosáceas, moderada a débilmente soldadas, localmente flujos ricos en pómez (bombas) y líticos. Se encuentra en la zona Norte de la cuenca.

- Ignimbrita Plato Superior (Nips) (Mioceno medio – superior, 13,5 – 12,5 M.a.)
  Toba dacítica, rica en cristales de plagioclasa, anfíboles y biotita, pómez desvitrificadas (lapilli fino a medio) y líticos, rosácea, moderada a medianamente soldada. Abarca una pequeña área en la zona centro-sur de la cuenca.

Depósitos no consolidados

- Depósitos aluviales y coluviales (Qac) (Cuaternario)
  Compuesto por bloques, gravas y arenas, con materiales finos, principalmente cenizas, arcillas y sales. Se encuentran distribuidos a lo largo de toda la cuenca.

- Depósitos salinos (Qs) (Cuaternario)
  Depósitos en lagunas y áreas frecuentemente inundadas, con corteza salina de superficie suave a rugosa, húmeda a seca, principalmente cloruros y sulfatos. Incluye depósitos lacustres de arenas, limos y capas de yeso en márgenes de salares antiguos. Se encuentran en el sector Sur de la cuenca.

Estructuras

De acuerdo al mapa geológico del SERNAGEOMIN utilizado, no se aprecian fallas en la cuenca. Se observan escarpes asociados al Conjunto Volcánicos IV.

b) Perfiles Hidrogeológicos

En esta cuenca no se cuenta con la información necesaria para poder trazar perfiles hidrogeológicos; sólo existe un sondaje.

10.1.4. Cuenca N° 6. La Laguna

a) Marco Geológico

Conforme a los antecedentes recabados y analizados, se estructuró el mapa geológico que se adjunta. En éste se presentan los tipos litológicos existentes en la cuenca de acuerdo a sus características petrográficas y cronológicas.

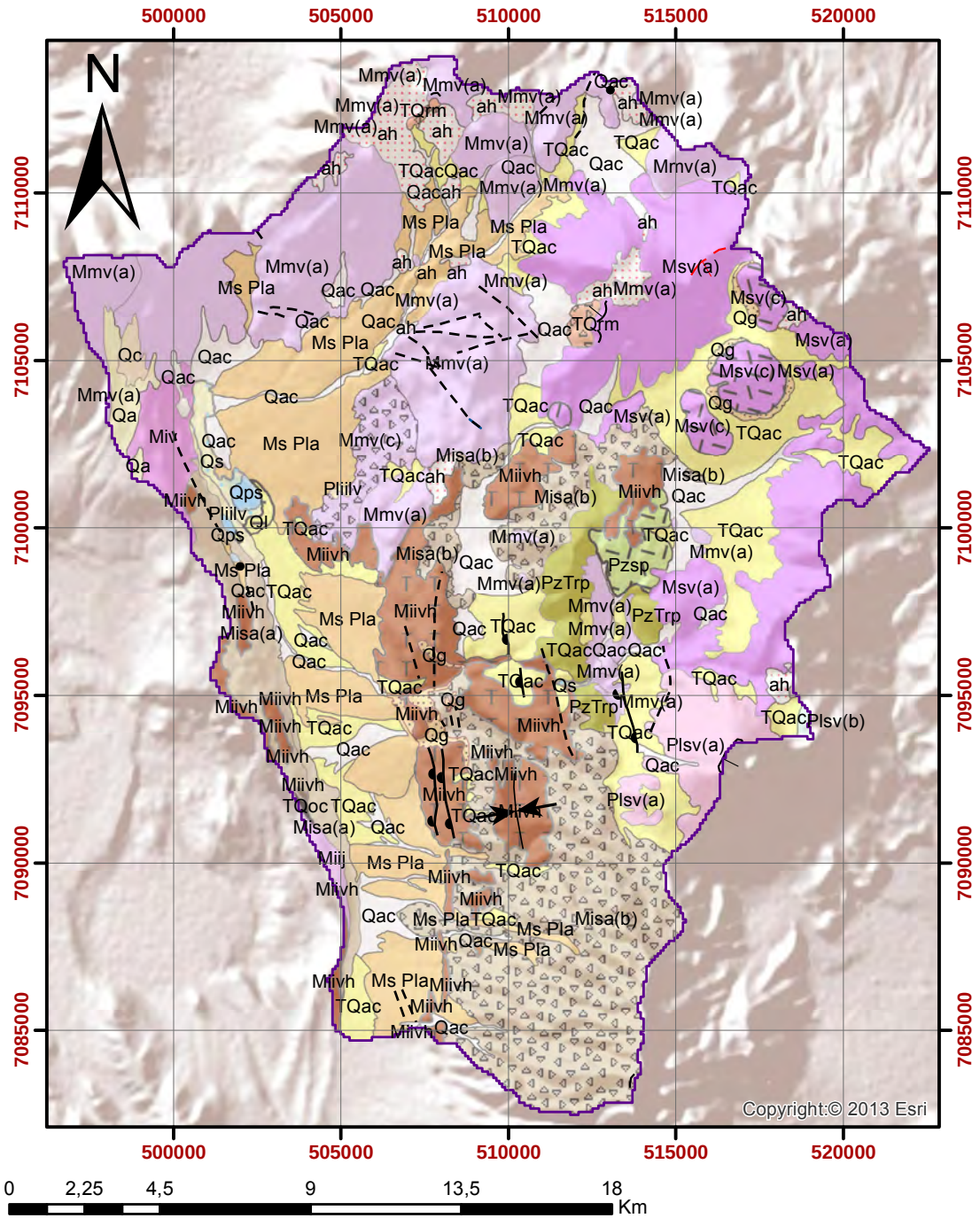
Rocas Estratificadas

- Formación Pantanoso (PzTrp) (Paleozoico superior – Triásico)
  Secuencia esencialmente volcánica constituida por riolitas y riodacitas, a veces fluidales, tobas riolíticas comúnmente soldadas, de estratificación gruesa, con escasas intercalaciones de lavas y cuerpos subvolcánicos basálticos, y de areniscas, conglomerados y brechas epiclásticas. Se ubican en el sector centro-este de la cuenca.

- Ignimbrita Juncalito (Miij) (Mioceno inferior)
  Toba riodacítica no soldada a débilmente soldada. Está compuesta por al menos tres unidades de flujo, separadas por dos niveles de oleada piroclástica con laminacion cruzada y suaves dunas. Cubre a la ignimbrita Vega Helada. Se encuentran en el extremo sur-oeste de la cuenca.

- Ignimbrita Vega Helada (Miivh) (Mioceno inferior)
  Toba soldada de vidrio y cristales, con bajo contenido de líticos y pómez, caracterizada por la presencia de un nivel vitrofídico negro cerca de la base. Sobreyace, comúnmente en concordancia, a la secuencia Sierra de Aliste y subyace a lavas de Mioceno medio y superior. Se encuentran en el centro de la cuenca.

Mapa Geológico Cuenca N°6: La Laguna



Litologías

Cuaternario

- Depósitos aluviales (Qa)
- Depósitos coluviales (Qc)
- Depósitos aluviales y coluviales (Qac)
- Depósitos glaciares (Qg)
- Depósitos lacustres (Ql)
- Depósitos de paleosalar (Qps)
- Depósitos salinos indiferenciados (Qs)

Terciario

- Depósitos aluviales y coluviales antiguos (TQac)
- Depósitos de remoción en masa (TQrm)
- Gravas aterrazadas (MsPla)

Secuencia Sierra de Aliste (Mioceno inferior)

- Depósitos volcánicos y sedimentarios continentales indiferenciados (Misa(a))
- Depósitos de bloque y ceniza (Misa(b))

Complejos volcánicos y estratovolcanes (Plioceno superior)

- Predominantemente lavas (Plsv(a))
- Domos (Plsv(b))

Complejos volcánicos y estratovolcanes (Mioceno superior)

- Predominantemente lavas (Msv(a))
- Domos (Msv(c))

Complejos volcánicos y estratovolcanes (Mioceno inferior)

- Lavas,depósitos de bloque y ceniza, niveles de escoria y aglutinados subordinados (Mmv(a))
- Depósitos de bloque y ceniza (Mmv(c))

Complejos volcánicos y estratovolcanes, Mioceno inferior (Miv)

- Ignimbrita Laguna Verde (Pliilv)
- Ignimbrita Juncalito (Miij)
- Ignimbrita Vega Helada (Miivh)

Paleozoico

- Formación Pantanoso (PzTrp)
- Pórfidos riolíticos (Pzsp)

Simbología

- Borde de caldera
- Escarpe
- Eje de pliegie sinclinal
- Falla cubierta
- Falla inferida
- Falla normal inferida
- Falla normal observada
- Alteración hidrotermal (ah)

Referencias

J. Clavero, M. Gardeweg, C. Mpodozis. 1998. Mapa Geológico Preliminar del Área del Salar de Piedra Parada, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile). Escala 1:100.000

A. Tomlinson, P. Cornejo, C. Mpodozis. 1999. Hoja Potrerillos, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile). Escala 1:100.000

Datum: WGS1984 zona 19S

Figura 1. Geología cuenca N°6 La Laguna

- Secuencia Sierra de Aliste (Misa) (Mioceno inferior)
  Secuencia volcánica y sedimentaria continental, constituida por una sucesión de bloques y cenizas, que localmente muestra una reducida intercalación sedimentaria de rocas clásticas y lacustres, en el techo de la secuencia. Sobreyace a la Formación Pantanoso y subyace a la ignimbrita Vega Helada y a las Gravas aterrazadas.

  Los depósitos de bloques y cenizas corresponden a una sucesión de depósitos de flujos piroclásticos, constituidos por bloques de dacitas inmersos en una matriz mediana a débilmente soldada de fragmentos menores de los mismos bloques y de cristales.

- Depósitos volcánicos y sedimentarios continentales indiferenciados. Se ubican principalmente en el extremo Oeste de la cuenca.
- Depósitos de bloque y ceniza. Se ubican principalmente en el extremo Sur de la cuenca.

- Ignimbrita Laguna Verde (Pliilv) (Plioceno inferior)
  Extensa toba riolítica fuerte a medianamente soldada formada por, al menos, cuatro unidades de flujo con intercalaciones de niveles de oleada piroclástica y algunos niveles más soldados. Ocurre como afloramientos discretos en pequeños mantos de reducida extensión y espesor (< 10 m). La fuente de origen de esta ignimbrita se encuentra probablemente asociada a la caldera Agua Amarga en Argentina. Se encuentra en el sector Oeste de la cuenca.

Rocas Intrusivas

- Pórfidos riolíticos (Pzsp) (Paleozoico superior)
  Cuerpos intrusivos porfídicos de pequeñas dimensiones que intruyen volcanitas de la Formación Pantanoso. Subyace a la Secuencias Sierra de Aliste y a la ignimbrita Vega Helada y a lavas del Mioceno superior. Se encuentra en el centro-oeste de la cuenca.

Depósitos no consolidados

- Gravas aterrazadas (MsPla) (Mioceno superior- Plioceno)
  Depósitos de gravas aterrazadas polimícticas de hasta 15 m de espesor que cubren la ignimbrita Laguna Verde. Presentan una superficie suavemente peniplanizada y se encuentran cubiertas por

depósitos aluviales y coluviales recientes. Se encuentra en el sector noroeste de la cuenca.

- Depósitos lacustres (Ql) (¿Pleistoceno inferior?)
  Areniscas, limolitas y conglomerados finos a medios de borde de lagos, moderada a fuertemente consolidados que se disponen horizontales al Sur de La Laguna, los que comúnmente muestran líneas de costa, y que se encuentran disectados y, en parte, cubiertos por los cauces actuales. Los fragmentos están constituidos básicamente por andesitas, dacitas y fragmentos piroclásticos muy redondeados y, en general, bien seleccionados, tomando capas bien laminadas con espesores entre 5 y 10 cm, algunas con laminación cruzada y lentes de arena. Se encuentra en el sector centro-oeste de la cuenca.

- Depósitos de paleosalar (Qps) (¿Pleistoceno inferior?)
  Secuencia de depósitos de yeso con cristales de hasta 30 cm de largo y, en menor proporción, de ulexita intercalados con niveles terrígenos y piroclásticos finos. Se encuentra en el sector noroeste de la cuenca.

- Depósitos aluviales y coluviales antiguos (TQac)
  Depósitos de escombro de falda, conos de deyección y relleno de valles y quebradas, polimícticos, mal seleccionados, de baja madurez, con fragmentos de hasta 1 m de diámetro inmersos en una matriz de arena gruesa, asociados a sistemas de drenaje inactivos. Se caracterizan por una superficie suavizada por la erosión, en tanto en los valles, se presentan suavemente peniplanizados. Ocurren disectados o cubiertos por los cauces y conos de deyección actuales. Se encuentra distribuida en toda la cuenca.

- Depósitos aluviales (Qa)
  Depósitos no consolidados que rellenan los cauces actuales de quebradas y valles de escorrentía intermitente. Se encuentra en el sector noroeste de la cuenca.

- Depósitos coluviales (Qc)
  Fragmentos sueltos que se disponen en la falda de los cerros y rellenando quebradas, con poco transporte, esencialmente gravitacional. Se encuentra en el sector noroeste de la cuenca.

- Depósitos aluviales y coluviales (Qac)
  Depósitos no consolidados de limo, arena, ripio y gravas, asociados a sistemas de drenaje y taludes activos, que constituyen los cauces, conos de deyección y relleno de valles y quebradas actuales. Corresponden a depósitos polimícticos a monomícticos (depósitos de relleno de quebradas y coluvio con poco transporte y depósitos de corrientes de barro), mal seleccionados y pobremente estratificados. Se encuentra distribuida en toda la cuenca.

- Depósitos glaciares (Qg)
  Brecha polimíctica a monomíctica no consolidada, constituida esencialmente por fragmentos de dacitas y andesitas de tamaño variable (<1 m) y angularidad creciente con el tamaño, inmersos en una matriz de limo-arena. Se incluyen depósitos periglaciarios. Se encuentra en el centro-sur de la cuenca.

- Depósitos salinos indiferenciados (Qs)
  Depósitos de sales constituidos esencialmente por cloruros y, en menor proporción, por sulfatos y boratos. Forman costras superficiales (< 10 cm) en La Laguna. Se encuentra en el sector noroeste de la cuenca.

- Depósitos de remoción en masa (TQrm)
  Brechas polimícticas, generalmente no consolidadas, las que habitualmente aún conservan estructuras tipo "hummocks" y drenajes cerrados, evidenciando los bloques colapsados que contienen debido a su origen por deslizamiento gravitacional en laderas abruptas. Están constituidos por bloques de diversos tamaños, muy fracturados, incluidos en una matriz de granulometría variable formada por la trituración mecánica de los bloques. Se encuentra en el extremo Norte de la cuenca.

Complejos Volcánicos

- Complejos volcánicos y estratovolcanes del Mioceno inferior (Miv)
  Corresponden a remanentes muy erosionados de conos de piroclástos y edificios volcánicos de composición predominantemente andesítico-basáltica y un domo de composición dacítica. Se encuentra en el sector noroeste de la cuenca.

- Complejos volcánicos y estratovolcanes del Mioceno medio (Mmv)
  Extenso conjunto de grandes edificios volcánicos profundamente erodados, pequeños edificios medianamente preservados, domos y

lavas aisladas. Corresponde a edificios con escasos remanentes de rasgos originales, de perfil bajo, superficies redondeadas y cráteres comúnmente no identificables. Subyacen a los Complejos volcánicos y estratovolcanes del Mioceno superior y a las Gravas aterrazadas. Sobreyacen a la secuencia Sierra de Aliste y a la ignimbrita Vega Helada.

Su composición varía entre andesitas y andesitas basálticas.

- Predominantemente lavas, con depósitos de bloques y cenizas, niveles de escoria y aglutinados subordinados. Se encuentra en el sector Norte de la cuenca.
- Depósitos de bloques y cenizas. Se encuentra en el centro de la cuenca.

- Complejos volcánicos y estratovolcanes del Mioceno superior (Msv)

Los principales centros de emisión de esta unidad son los volcanes Plomizo, Cerro Colorado Chato, Lagunas Bravas, Tridente y Cordón de la Azurera. Los edificios volcánicos corresponden a estratovolcanes mixtos y compuestos, los que se presentan fuertemente erodados y parcialmente colapsados.

Sus principales productos son lavas, domos y depósitos piroclásticos de caída de composición andesítico-basáltica a dacítica mediana a fuertemente erosionados. Se encuentra en el sector este de la cuenca.

- Predominantemente lavas
- Domos

- Complejos volcánicos y estratovolcanes del Plioceno superior (Plsv)

De distribución aleatoria, corresponde a un conjunto de volcanes mixtos con productos de composición principalmente andesítica y, en menor proporción, dacítica, con cráteres parcialmente erosionados y, en parte, colapsados. Los principales centros de emisión de esta unidad corresponden a los volcanes Panteón de Aliste, Nevado Leon Muerto, Gemelos Dos Puntas y el Complejo Volcánico Cerros Colorados. Se encuentra en el sector sureste de la cuenca.

- Predominantemente lavas
- Domos

Estructuras

En la cuenca se distinguen tres orientaciones preferenciales para las estructuras:

- Fallas normales, fallas indiferenciadas y pliegue sinclinal de orientación aproximadamente NS, que afectan a la ignimbrita Vega Helada (Miivh) y a los depósitos aluviales y coluviales antiguos (MsPa) hacia el Sur de la cuenca.
- Fallas de orientación aproximadamente EO que afectan principalmente a las unidades volcánicas, hacia el Norte de la cuenca.
- Fallas de orientación aproximadamente NE-SO que afectan principalmente a unidades volcánicas.

Además se observan estructuras volcánicas como escarpes, bordes de caldera sobre las unidades volcánicas.

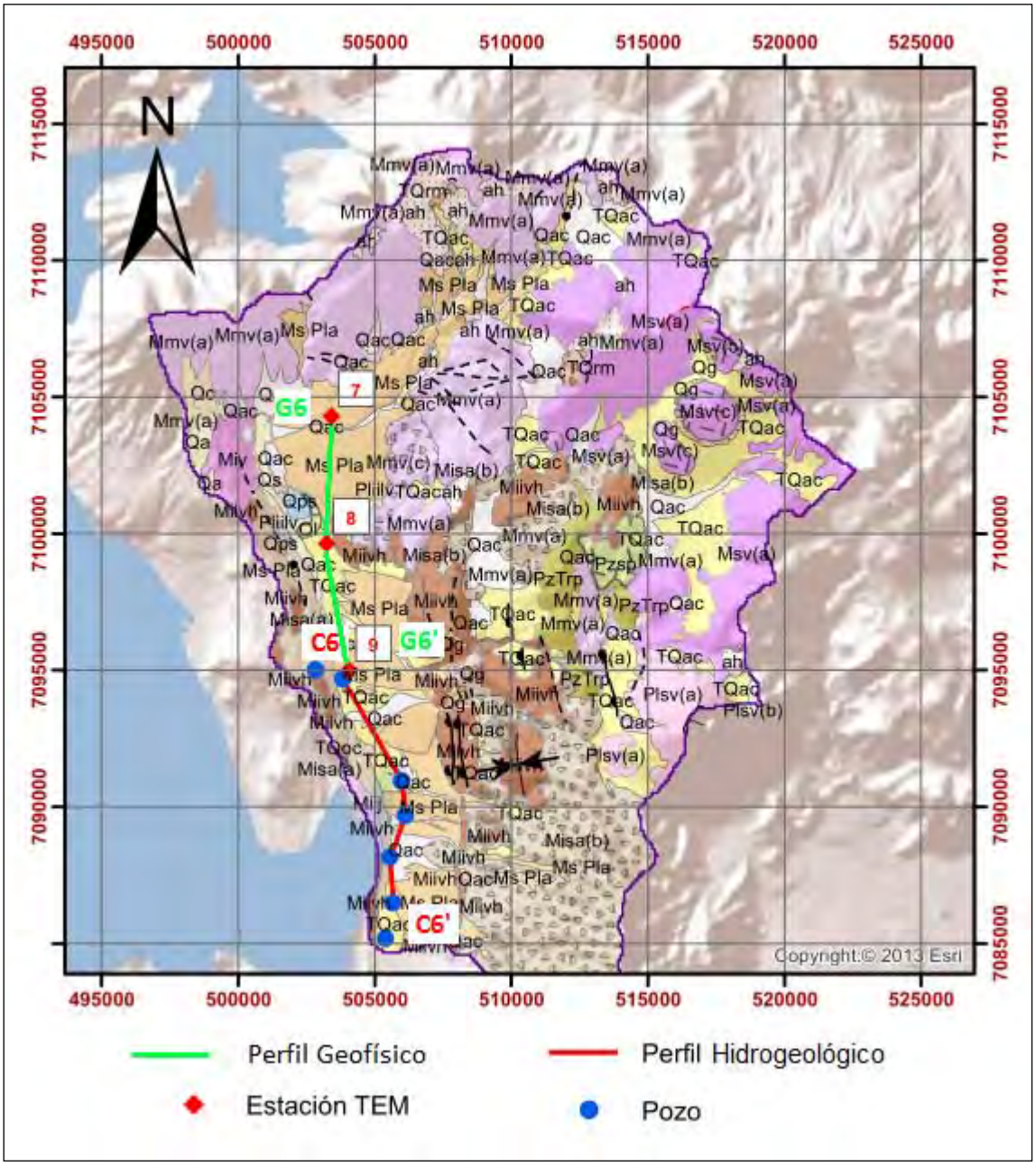
b) Perfiles Hidrogeológicos

De acuerdo a la información aportada por las descripciones estratigráficas de 5 pozos y a 3 estaciones geofísicas tipo TEM (Ver Cuadro 10.1-3), se trazó el Perfil hidrogeológico C6-C6' Cuenca La Laguna y el Perfil Geofísico G6-G6' Cuenca La Laguna, ubicados como se ilustra en la Figura 10.1-5.

CUADRO 10.1-3
COORDENADAS Y COTA POZOS DEL PERFIL HIDROGEOLÓGICO C6-C6'

Nombre	Coordenadas (Datum WGS84, huso 19S)		Cota (m s.n.m.)
	Norte (m)	Este (m)	
SPB-10	7.094.662	503.813	3.622
SPB-8	7.090.973	505.951	3.713
SPB-13	7.089.706	506.099	3.714
SPB-7	7.088.193	505.528	3.706
SPB-14	7.086.498	505.632	3.734
7	7.104.319	503.386	3.633
8	7.099.647	503.207	3.527
9	7.095.000	504.028	3.628

FIGURA 10.1-5
UBICACIÓN ESTACIONES TEM, POZOS Y PERFIL HIDROGEOLÓGICO C6-C6' CUENCA LA LAGUNA. SISTEMA DE COORDENADAS UTM84, HUSO 19S

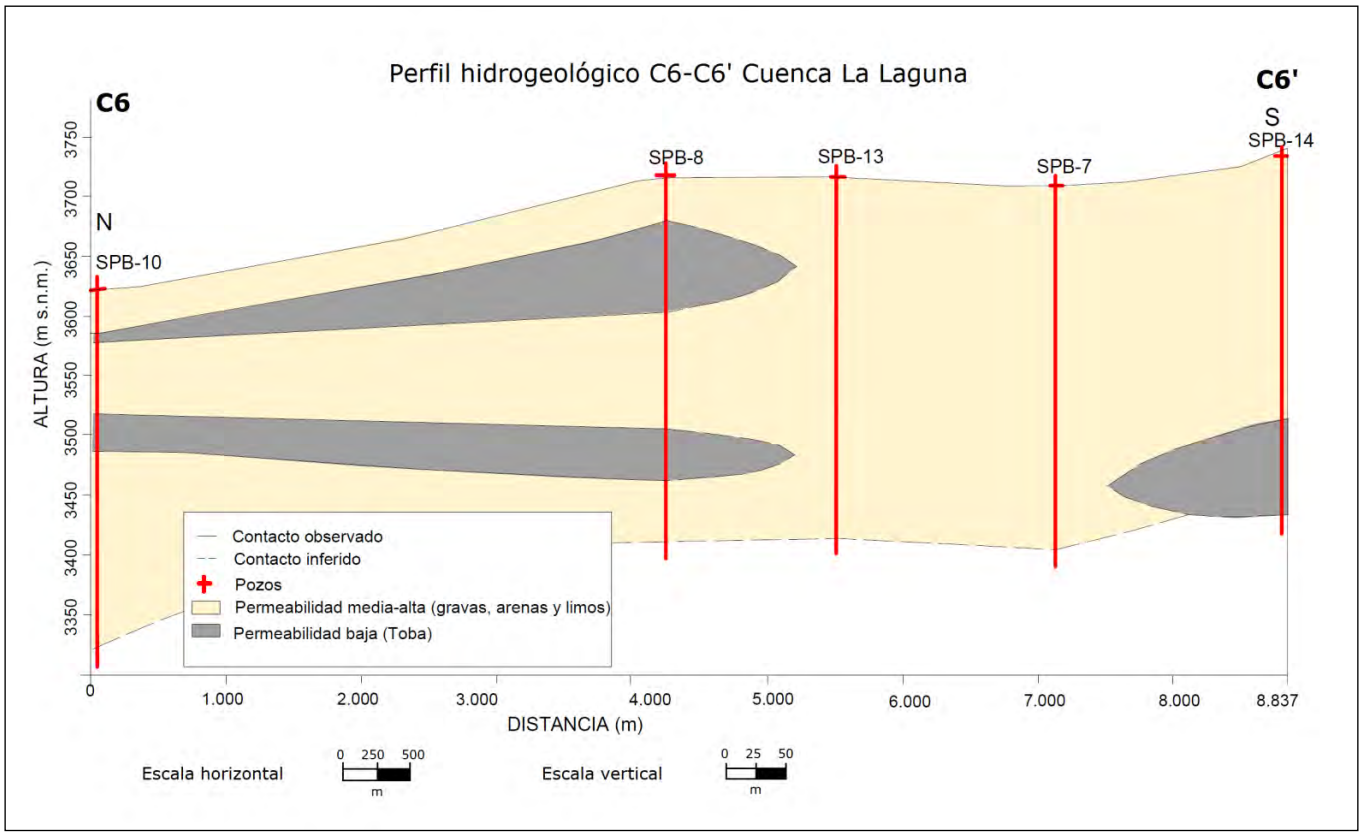


Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil hidrogeológico C6-C6' Cuenca La Laguna**

El perfil hidrogeológico (Figura 10.1-6) posee una orientación norte-sur y una longitud de casi 9 km. En él se identifica un acuífero en la unidad de permeabilidad media-alta, conformado por gravas, arenas y limos, el cual presenta interdigitaciones de una unidad compuesta de toba de permeabilidad baja.

FIGURA 10.1-6
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C6-C6' CUENCA LA LAGUNA



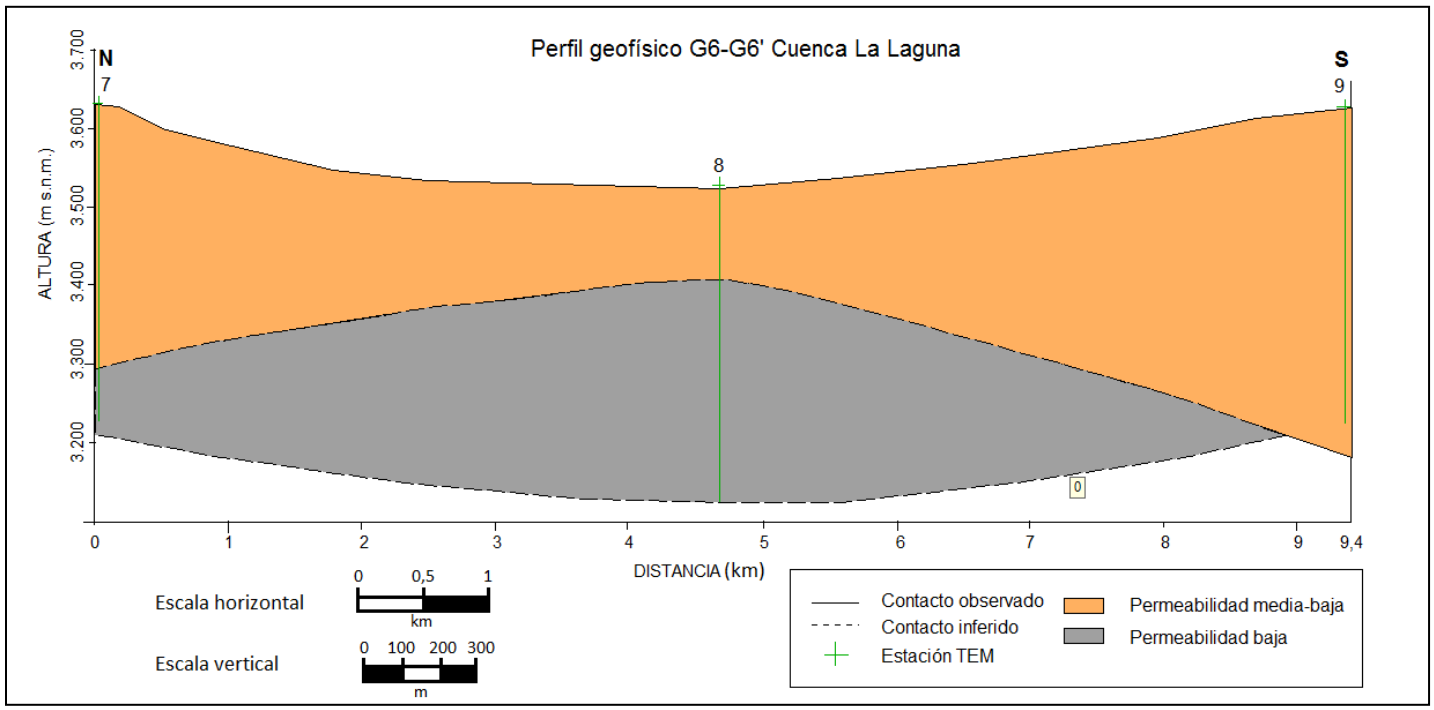
Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil geofísico G6-G6' Cuenca La Laguna**

Según la información aportada por el estudio geofísico (Figura 10.1-8), la base del acuífero estaría representada por una roca basal de origen volcánico de permeabilidad baja. En la zona cercana a la estación 7 esta unidad estaría a una profundidad de 340 m y en la zona de la estación 8 a 115 m, ambas ubicadas al Norte del perfil (Ver Figuras 10.1-5 y 10.1-7).

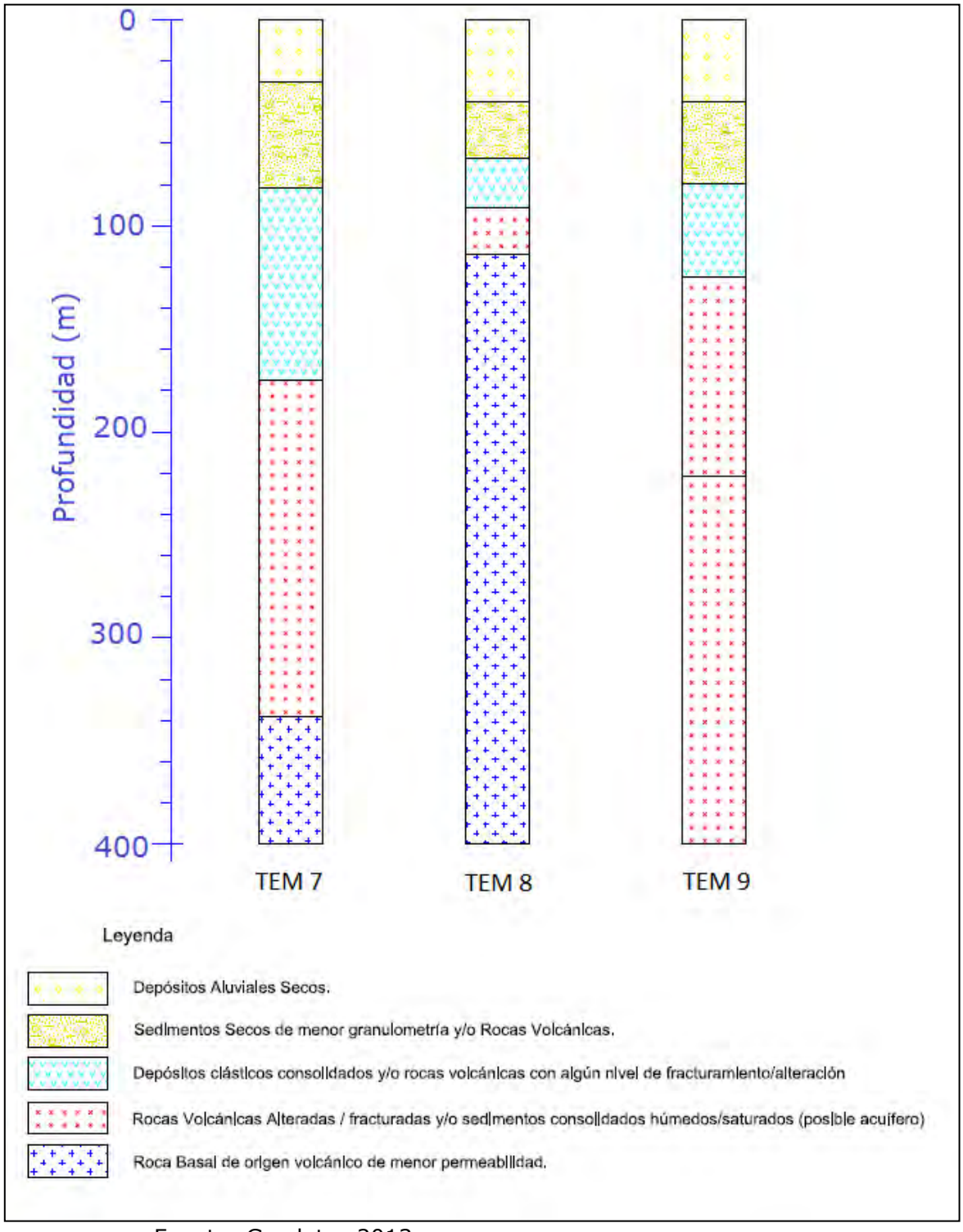
Sobre esta roca fresca, se identifica una unidad de permeabilidad media-baja conformada por rocas volcánicas alteradas/fracturadas y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados. Ésta, en la estación 9 – ubicada a 400 m hacia el noreste del pozo SPB-10- se reconoce desde los 130 a 400 m de profundidad.

FIGURA 10.1-7
PERFIL GEOFÍSICO G6-G6' CUENCA LA LAGUNA



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

FIGURA 10.1-8
COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS ESTACIONES TEM 7, 8 Y 9



Fuente: Geodatos 2013

10.1.5. Cuenca N° 2. Salar de Pedernales

a) Marco Geológico

Conforme a los antecedentes recabados y analizados, se estructuró el mapa geológico que se adjunta. En éste, se presentan los tipos litológicos existentes en la cuenca de acuerdo a sus características petrográficas y cronológicas.

Rocas Estratificadas

- Formación Chinches (DCch) (Devónico-Carbonífero?, 231 M.a.)
  Sucesión de lutitas y areniscas arcósicas de ambiente subacuático, marino. Aflora principalmente en la zona centro y sur poniente de la cuenca.

- Formación La Tabla (Pzlt) (Paleozoico Superior)
  Secuencia maciza de tobas y brechas riolíticas y andesíticas. Aflora en los límites centro y suroeste.

- Formación Pantanoso (Pep) (Pérmico)
  Secuencia de rocas volcánicas, volcanoclásticas y subvolcánicas, que aflora, como el basamento de la Cordillera Claudio Gay, en el sector oriente de la cuenca.

- Estratos El Mono (TrJem) (Triásico Superior-Jurásico Inferior)
  Secuencia sedimentaria detrítica, de hasta 2.00 m de espesor. Están expuestos en el límite suroeste de la cuenca.

- Formación Quebrada del Salitre (TrJqs) (Triásico Superior-Jurásico Inferior)
  Secuencia sedimentaria-volcánica compuesta por lavas y brechas basálticas, domos riolíticos, areniscas y calizas fosilíferas. Aparece como un afloramiento pequeño en el borde noroccidental de la cuenca.

- Estratos de Quebrada Vicuñita (Jqv) (Jurásico Superior)
  Unidad, principalmente, volcánica formada por lavas andesítico-basálticas vesiculares y 'sills' de la misma composición, con intercalaciones de calizas y areniscas calcáreas. Corresponde a un solo afloramiento ubicado al centro-oeste de la cuenca.

Cuenca N°2 Salar de Pedernales

Litologías

Cuaternario

- Complejos volcánicos del cuaternario (Qv)
- Alteración hidrotermal (ah)
- Depósitos fluviales (Qf)
- Depósitos aluviales (Qa)
- Depósitos aluviales antiguos (Qala)
- Depósitos coluviales (PlHc)
- Remociones en masa (PlHrm)
- Depósitos eólicos (Qe)
- Depósitos glaciares (Qg)
- Depósitos salinos recientes de Pedernales (Qs)
- Ignimbrita Chato Aislado (Qich)
- Complejos Volcánicos del Plioceno Superior (Psv)
- Complejos Volcánicos del Plioceno inferior (Piv)
- Ignimbrita Laguna Verde (Pliilv)

Mioceno

- Depósitos aluviales Miocenos (MsPa)
- Depósitos antiguos del Salar de Maricunga (MsPls)
- Ignimbrita San Andrés (Msisa)
- Ignimbrita Wheelwright (Msiw)
- Gravas de la Quebrada Manantiales (Msqm)
- Complejos Volcánicos del Mioceno Superior (Msv)
- Gravas de Atacama (Mga)
- Intrusivos hipoabisales del Mioceno Medio (Mmh)
- Ignimbrita Inés Chica (Mmich)
- Ignimbrita Los Cristales (Mmilc)
- Estratos de Río Lamas (Mmrl)
- Aparatos volcánicos centrales y campos de lavas (Mmv)
- Ignimbrita Los Terneros (Miilt)
- Ignimbrita Vega Helada (Miivh)
- Complejo Volcánico El Perro (Mip)
- Estratos de piedra pómez (Mipp)
- Estratos de Sierra Aliste (Misa)
- Lavas y domos del Mioceno Inferior (Miv)

Oligoceno

- Ignimbrita La Ola (OMio)
- Complejo Volcánico Cerro Punta Amarilla-Pampa (OMpa)
- Pórfidos dioríticos del Oligoceno (Opd)
- Estrato de Llano Los Gases Blancos (Ogb)
- Estratos de Claudio Gay (OMcg)
- Volcanes Cerros Bravos y Cerros de la Sal (TOMv)
- Domos de Esperanza (TOMde)
- Lavas y Domos de Cerro La Ola-Carachapampa-Los Arroyos (TOMdo)
- Estratos de Río Juncalito (TOMrj)
- Pórfidos riodacíticos (TOird)

Paleoceno-Eoceno

- Estratos de La Vertiente (EOlv)
- Intrusivos hipoabisales (TEp)
- Pórfidos dioríticos y diques andesíticos de piroxeno (TPdi)
- Intrusivos hipoabisales de piroxeno (TPpdi)

Cretácico

- Intrusivos Cretácico Superior-Paleoceno (KT)
- Intrusivos Cretácico Superior (Ks)
- Estratos El Leoncito (Kle)
- Formación Agua Helada (Kah)
- Estratos de Cerro Los Carneros (Kcc)
- Formación Quebrada Monardes (Kqm)

Jurásico

- Formación Pedernales (JKp)
- Formación Asientos (Ja)
- Formación Montandón (Jm)
- Estratos de Quebrada Vicuñita (Jqv)

Triásico

- Formación Quebrada del Salitre (TrJqs)
- Estratos El Mono (TrJem)

Paleozoico

- Batolito Pedernales (Pzgp)
- Formación Pantanoso (Pep)
- Formación La Tabla (Pzlt)
- Pórfidos riolíticos del Paleozoico Superior (Pzsp)
- Formación Chinches (DCch)

Estructuras

- Falla normal
- Sinclinal
- Lineamiento
- Falla inversa
- Escarpe
- Anticlinal

Referencias

Cornejo, P. Mpodozis, C. Tomlinson, A. J. 1996. Hoja Salar de Maricunga, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapas Geológicos No 7, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Clavero, J., Gardeweg, M. y Mpodozis, C., 1998. Mapa Geólogico Preliminar del Área del Salar de Piedra Parada, Región de Atacama, Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile) Mapas Geológicos. Escala 1:100.000.

Tomlinson. A. J., Cornejo. P., Mpodozis, C., 1999. Hoja Potrerillos, Región de Atacama, Servicio Nacional de Geología y Minería(Chile) Mapas Geológicos. No. 14. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago

Clavero, J; Mpodozis, C; Gardeweg, M. Valenzuela, M. 2012. Geología de las áreas Laguna Wheelwright y Paso San Francisco, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 1 mapa escala 1:100000. Santiago.

Escala: 1:300.000 Datum: WGS 1984 19S

0 5 10 20 30 40 50 Kilometers

Mapa modificado de la recopilación de las hojas Salar de Maricunga (Cornejo et al., 1996), Salar de Piedra Parada (Clavero et al., 1998), Potrerillos (Tomlinson et al., 1999) y Salar de Wheelwright (Clavero et al, 2012), correspondientes al Servicio Nacional de Geología y Minería.

Figura 1. Geología cuenca N°2 Salar de Pedernales

- Formación Montandón (Jm) (Pliensbachiano-Bajociano medio?)
  Alternancia de calizas y calcilutitas fosilíferas y conglomerados finos con matriz calcárea, de espesor aproximado 300 m. Corresponde a pequeños afloramientos ubicados en la zona poniente de la cuenca.

- Formación Asientos (Ja) (Caloviano?)
  Secuencia de calizas fosilíferas amarillas y areniscas volcanoclásticas verdes, con intercalaciones menores de lavas basálticas. Corresponde a pequeños afloramientos ubicados en la zona poniente de la cuenca.

- Formación Pedernales (JKp) (Titoniano-Valanginiano)
  Secuencia de espesor variable, entre 150 y 300 m, formada por una alternancia de calizas y areniscas calcáreas fosilíferas. Afloran en dos zonas ubicadas al Oeste de la cuenca donde cubren áreas pequeñas.

- Formación Quebrada Monardes (Kqm) (Cretácico Inferior)
  Secuencia de lutitas y areniscas arcósicas continentales de unos 200 m de espesor. Aflora en el sector centro y en el suroeste de la cuenca.

- Estratos de Cerro Los Carneros (Kcc) (85?-65 M.a.)
  Secuencia volcánica de hasta 2.000 m, ubicada al Sur del Batolito Pedernales, en el sector centro-oeste de la cuenca.

- Formación Agua Helada (Kah) (Cretácico Inferior)
  Secuencia bien estratificada de areniscas cuarzo-feldespáticas y limonitas, ubicada al poniente del salar de Pedernales, al nor-oeste de la cuenca.

- Estratos El Leoncito (Kle) (Cretácico Superior)
  Secuencia de hasta 500 m de conglomerados, que aflora en el centro de la cuenca.

- Estratos de La Vertiente (EOlv) (Eoceno-Oligoceno?, ca. 25 M.a.)
  Secuencia volcánica ubicada en el sector Sur de la cuenca.

- Estratos de Río Juncalito (TOMrj) (26?-21 M.a.)
  Secuencia volcano-sedimentaria que aflora en el sector centro de la cuenca, donde abarca una gran área.

- Lavas y Domos de Cerro La Ola- Carachapampa-Los Arroyos (TOMdo) (26-23 M.a.)
  Remanentes profundamente erodados de aparatos volcánicos centrales y domos extrusivos de 3-6 km de diámetro, que ocurren aislados en la zona centro-sur de la cuenca, al este del complejo de Cerros Bravos y Esperanza.

- Volcanes Cerros Bravos y Cerros de la Sal (TOMv) (26-22 M.a.)
  Complejo que intruye dos estratovolcanes coalescentes, profundamente erodados, de 25 km de diámetro (Cerros Bravo-Barros Negros), con una altura base entre 1.100 y 1.500 m. Se emplaza al sur-oeste de la cuenca.

- Estratos de Claudio Gay (OMcg) (Oligoceno Superior- Mioceno Inferior, ca. 26-21 M.a.)
  Secuencia formada por dos asociaciones de facies principales: una volcanoclástica y otra lávica, de al menos 500 m de espesor. Se ubican en el sector Sur de la cuenca.

- Estrato de Llano Los Gases Blancos (Ogb) (Oligoceno?)
  Secuencia volcánica y sedimentaria, plegada, que forma la envolvente del anticlinal del cerro Punta Amarilla. Se encuentran en el sector centro-oriente de la cuenca.

- Complejo Volcánico Cerro Punta Amarilla-Pampa (OMpa) (25-22 M.a.)
  Complejo volcánico erosionado, ubicado en el extremo sureste del salar de Pedernales, en el centro de la cuenca.

- Ignimbrita La Ola (OMio) (ca. 22 M.a.)
  Remanentes de un depósito de flujo piroclástico débilmente soldado, que se encuentra en el sector Sur del salar de Pedernales.

- Lavas y domos del Mioceno Inferior (Miv) (ca. 20-18 M.a.)
  Secuencia de lavas andesíticas y domos riodacíticos. Corresponden a productos lávicos proximales dispuestos en forma subhorizontal o con ligera inclinación primaria. Afloran en la zona Norte y Sur de la cuenca.

- Estratos de Sierra Aliste (Misa) (Mioceno Inferior, ca. 21 M.a.)
  Depósitos de bloques y ceniza de hasta 40 m de espesor, inmersos en una matriz mediana a débilmente soldada de fragmentos menores. Afloran en el centro de la cuenca.

- Estratos de piedra pómez (Mipp) (ca. 18 M.a.)
  Depósitos de bloques y ceniza semi a bien consolidados. Presentan una potencia máxima de 150 m, en capas de 5 a 20 m de espesor. Afloran en el borde Sur de la cuenca.

- Complejo Volcánico El Perro (Mip) (20-18?)
  Ubicado al noreste del salar de Pedernales, en el Norte de la cuenca, incluye remanentes de un conjunto de domos y lavas-domos.

- Ignimbrita Vega Helada (Miivh)
  Depósito de flujo piroclástico, que aflora en el borde suroriental del salar de Pedernales y que se extiende hacia el este, ubicándose en el sector céntrico de la cuenca.

- Ignimbrita Los Terneros (Miilt) (Mioceno)
  Depósito de flujo piroclástico pumíceo, ubicado al suroeste de la cuenca.

- Aparatos volcánicos centrales y campos de lavas (Mmv) (16-14 M.a.)
  Centros volcánicos medianamente erodados, que ocurren en los alrededores del salar de Pedernales –en el sector Norte de la cuenca- y en la zona Sur de la zona de estudio.

- Estratos de Río Lamas (Mmrl) (ca. 16 M.a.)
  Depósitos de gravas fluviales y aluviales semiconsolidados, inmersos en una matriz arenosa. Aflora en la región Sur de la cuenca.

- Ignimbrita Los Cristales (Mmilc) (16-15 M.a.)
  Depósito de flujo piroclástico pumíceo, que aflora en el sector sur-poniente de la cuenca.

- Ignimbrita Inés Chica (Mmich) (17-16 M.a.)
  Depósito de flujo piroclástico con espesores entre 5-15 m, que se encuentran al noroeste del salar de Pedernales, al noroeste d ela cuenca.

- Gravas de Atacama (Mga) (17-9 M.a.)
  Gravas y arenas gruesas polimícticas, mal consolidadas, disectadas por el drenaje actual y depositadas en superficies pediplanizadas. Incluye intercalaciones ignimbríticas débilmente soldadas. Afloran en la zona sur-poniente de la zona de estudio.

- Complejos Volcánicos del Mioceno Superior (Msv) (8-5 M.a.)
  Conjunto de volcanes de pequeño tamaño y extensión reducida. Corresponden a centros erodados, donde las coladas no preservan sus rasgos originales y el domo ha perdido su carcaza brechosa original. Se encuentran en los sectores Norte y Sur de la cuenca.

- Gravas de la Quebrada Manantiales (Msqm) (Mioceno Superior)
  Depósitos esencialmente aluviales constituidos por gravas, arena y limo, polimícticos, mal seleccionados. Presenta intercalación de la ignimbrita San Andrés (Msisa). Se disponen al Sur de la cuenca.

- Ignimbrita Wheelwright (Msiw) (Mioceno Superior, ca. 6 M.a.)
  Depósito de flujo piroclástico dacítico, corresponde a una toba consolidada a semiconsolidada. Se reconoce un afloramiento de alta cobertura en el sector sur-oriente de la cuenca.

- Ignimbrita San Andrés (Msisa) (Mioceno Superior, 10-9 M.a.)
  Depósito de flujo piroclástico correspondiente a una toba riolítica cinerítica de color rosado y blanco. A lo largo de la cuenca, se encuentran variados afloramientos. El mayor de ellos ocurre en el borde centro-este de la zona de estudio.

- Ignimbrita Laguna Verde (Pliilv) (4-3 M.a.)
  Remanentes aislados del depósito de un flujo piroclástico cinerítico que cubre a depósitos aluviales antiguos en el llano Los Aroyos, entre los salares Pedernales y Maricunga. Se encuentran en la zona centro-sur de la cuenca.

- Complejos Volcánicos del Plioceno inferior (Piv) (5-3 M.a.)
  Conjunto de volcanes compuestos por grande edificios aislados mixtos y por afloramientos distales de coladas que constituyen el basamento o facie inicial de edificios del Plioceno Superior y del Cuaternario. La composición de las lavas es más heterogénea que las del Plioceno Superior e incluye dacitas y andesitas. Se ubican en el límite sur-oriente de la cuenca.

- Complejos Volcánicos del Plioceno Superior (Psv) (ca. 3-2 M.a.)
  Conjunto de volcanes constituido por edificios aislados mixtos y por afloramientos distales de coladas que constituyen el basamento o facie inicial de los macizos del Cuaternario. Se concentra en la zona sur-oriente de la cuenca.

- Ignimbrita Chato Aislado (Qich) (Pleistoceno Inferior)
  Toba dacítica de pequeño volumen, de ceniza, pómez, líticos y cristales, no soldada. Se encuentra sólo un afloramiento en el sector céntrico de la cuenca.

Rocas Intrusivas

- Pórfidos riolíticos del Paleozoico Superior (Pzsp)
  Cuerpos intrusivos porfídicos de pequeñas dimensiones que intruyen volcanitas de la Formación Pantanoso (Pep), en el sector centro-oriente de la cuenca.

- Batolito Pedernales (Pzgp) (Pérmico; 300-260 Ma)
  Complejo intrusivo multiplutónico que se extiende al suroeste del Salar de Pedernales, desde la sierra El Bórax hasta las nacientes de la quebrada Pastos Largos, en el sector centro-oeste. Intruye a la Formación Chinches y, en su borde occidental, a la Formación La Tabla.

- Intrusivos Cretácico Superior (Ks) (90-66 M.a.)
  Conjunto de intrusivos hipabisales que afloran en el sector centro y centro-oeste de la cuenca.

- Intrusivos Cretácico Superior- Paleoceno (KT) (66-64 M.a.)
  Conjuntos de intrusivos que ocurren bajo la cubierta de rocas volcánicas de Oligoceno-Mioceno en el borde suroccidental de la cuenca.

- Intrusivos hipoabisales de piroxeno (TPpdi) (65-59? M.a.)
  Enjambres de diques de orientación, nor-noreste, y 'sills' emplazados en lso Estratos El Leoncito y Formación Quebrada Monardes en el sector centro de la cuenca.

- Pórfidos dioríticos y diques andesíticos de piroxeno (TPdi)
  Stocks, diques y filones que se encuentran al centro de la zona de estudio.

- Intrusivos hipoabisales (TEp) (46-35 M.a.)
  Intrusivos menores que se concentran en la zona sur-poniente de la cuenca.

- Pórfidos riodacíticos (TOird) (33-31 M.a.)
  Intrusivos subvolcánicos emplazados en las secuencias mesozoicas, en parte como 'sills' y lacolitos (2-5 km^2), a través de fallas inversas de alto ángulo, en el sector sur-oeste de la cuenca.

- Domos de Esperanza (TOMde) (24-22 M.a.)
  Conjunto de remanentes, profundamente erodados de, a lo menos, tres domos subcirculares riodacíticos de 4-6 km^2 de diámetro y sus productos piroclásticos asociados, ubicados en el flanco noreste, descubierto, del volcán Cerros Bravos, al sureste de la cuenca.

- Pórfidos dioríticos del Oligoceno (Opd)
  Cuerpos intrusivos hipabisales que afloran en el centro de la cuenca, donde intruyen a areniscas y conglomerados rojos plegados de la Formación Quebrada Monares.

- Intrusivos hipabisales del Mioceno Medio (Mmh)
  Pequeño afloramiento intrusivo ubicado en el sector sureste de la zona de estudio.

Depósitos no consolidados

- Depósitos antiguos del Salar de Maricunga (MsPls) (Mioceno Superior-Plioceno)
  Costras sulfatadas y boratadas que afloran en el salar, en la zona Norte de la cuenca.

- Depósitos aluviales Miocenos (MsPa) (Mioceno Superior-Plioceno Inferior)
  Bancos de gravas y bloques de bajo redondeamiento y selección, matriz-soportados, consistente en abundante arena y limo, y locamente lentes de arena fina. Se ubican a lo largo de toda la cuenca.

- Depósitos aluviales antiguos (Qala) (Cuaternario)
  Sedimentos moderadamente compactos, estratificados (gravas, arenas y limos). Forman conos de morfología suave y baja pendiente, en el borde suroriental del salar de Pedernales, donde se encuentra el depósito de mayor cobertura. Otros depósitos más pequeños se ubican a lo largo de toda la cuenca.

- Depósitos salinos recientes de Pedernales (Qs) (Cuaternario)
  Sales y limos salinos, que forman el margen Sur y oriental del salar de Pedernales (Sector de recarga activa).

- Depósitos glaciares (Qg) (Cuaternario)
  Incluye morrenas de fondo y laterales y depósitos periglaciares correspondientes a gravas y bloques polimícticos inmersos en una matriz de limo-arena. Se encuentran en el límite centro-oriente, en la zona de Complejos volcánicos del cuaternario (Qv).

- Depósitos eólicos (Qe) (Caternario)
  Limos y arenas finas, no compactas, ubicados al sureste del salar de Pedernales, en el sector Norte de la cuenca.

- Remociones en masa (PlHrm) (Cuaternario)
  Sedimentos compuestos por bloques métricos y material disgregado in situ, producto de transporte gravitacional. Se ubican principalmente en el sector Sur de la cuenca.

- Depósitos coluviales (PlHc) (Cuaternario)
  Sedimentos formados por bloques angulosos, comúnmente monomícticos, y arenas, que ocurren en las laderas de fuerte pendiente. Se encuentran a lo largo de toda la cuenca, en zonas donde existe una fuerte disminución de pendiente.

- Depósitos aluviales (Qa) (Cuaternario)
  Arenas, gravas y limos asociados a sistemas de drenaje ocasional o cauces inactivos. Se encuentran varios depósitos a lo largo de la cuenca.

- Depósitos fluviales (Qf) (Cuaternario)
  Sedimentos no consolidados (ripios, gravas y arenas), heterocomposicionales, clastosoportados, con escasa matriz de arena gruesa, localmente imbricados (ríos La Ola y Juncalito). Se encuentran en el sector Sur de la cuenca.

- Complejos volcánicos del cuaternario (Qv) (Cuaternario)
  Extenso conjunto de estratovolcanes compuestos y mixtos superpuestos formados por lavas, domos y depósitos piroclásticos de caída. Se encuentran en el borde centro-oriente de la cuenca.

Estructuras

De acuerdo a los antecedentes aportados por el SERNAGEOMIN, en la zona de estudio se reconocen fallas inversas y lineamientos con distintas orientaciones.

Al Norte del salar de Pedernales se observan lineamientos y al Oeste fallas inversas, ambos de rumbo noroeste, y hacia el Sur del salar se reconocen lineamientos y fallas inversas de rumbo principalmente norte-sur asociadas al Batolito Pedernales (Pzgp).

En el sector sur-poniente y centro-oriente de la cuenca existen conjuntos de lineamientos, observados e inferidos, con orientación noroeste.
Además de estas estructuras, existe alteración hidrotermal (ah) asociada, en la zona Sur de la cuenca, a los Domos de Esperanza (TOMde) y, en la zona Norte de la cuenca, a los Aparatos volcánicos centrales y campos de lava (Mmv).

b) Perfiles Hidrogeológicos

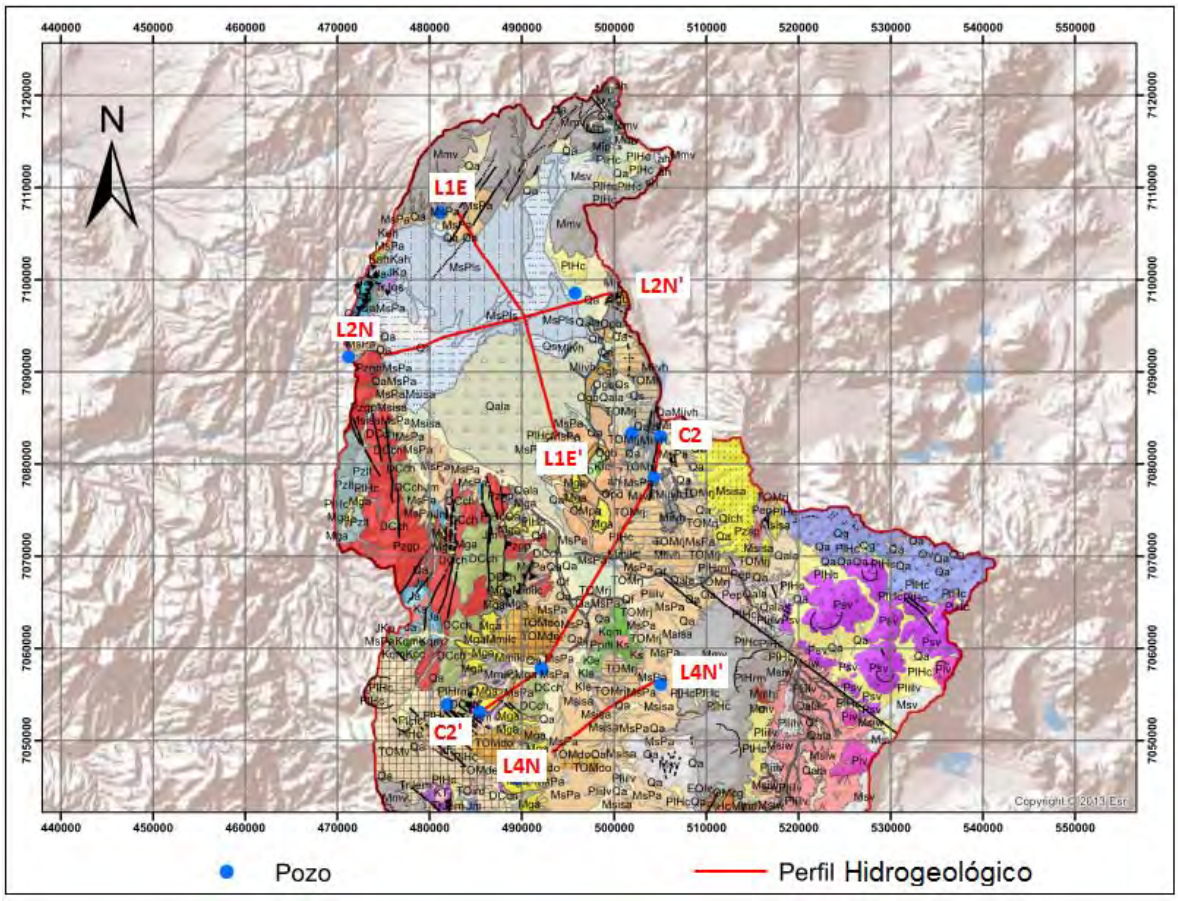
De acuerdo a la información aportada por las descripciones estratigráficas de los pozos SPB-16, SPB-1, Pozos n°1 y n°2 y Chimberos (Ver Cuadro 10.1-4), se trazó el Perfil hidrogeológico C2-C2' en la cuenca salar de Pedernales (Figura 10.1-9). Éste posee una orientación noreste-suroeste y una longitud de 36.393 m.

Además, se cuenta con otros 3 perfiles hidrogeológicos estructurados por CPH y Asociados (2012) a partir de un estudio geofísico (Figura 10.1-11, 10.1-12 y 10.1-13).

CUADRO 10.1-4
COORDENADAS Y COTAS DE LOS POZOS DEL PERFIL HIDROGEOLÓGICO C2-C2'

Nombre Pozo	Coordenadas (Datum WGS84, huso 19S)		Cota (m s.n.m.)
	Norte (m)	Este (m)	
Chimberos	7.053.158	485.486	3.760
Pozo Nº1	7.057.834	492.120	3.684
Pozo Nº2	7.057.732	492.233	3.684
SPB-16	7.082.954	505.092	3.754
SPB-1	7.078.567	504.366	3.800

FIGURA 10.1-9
UBICACIÓN POZOS Y PERFILES CUENCA SALAR DE PEDERNALES

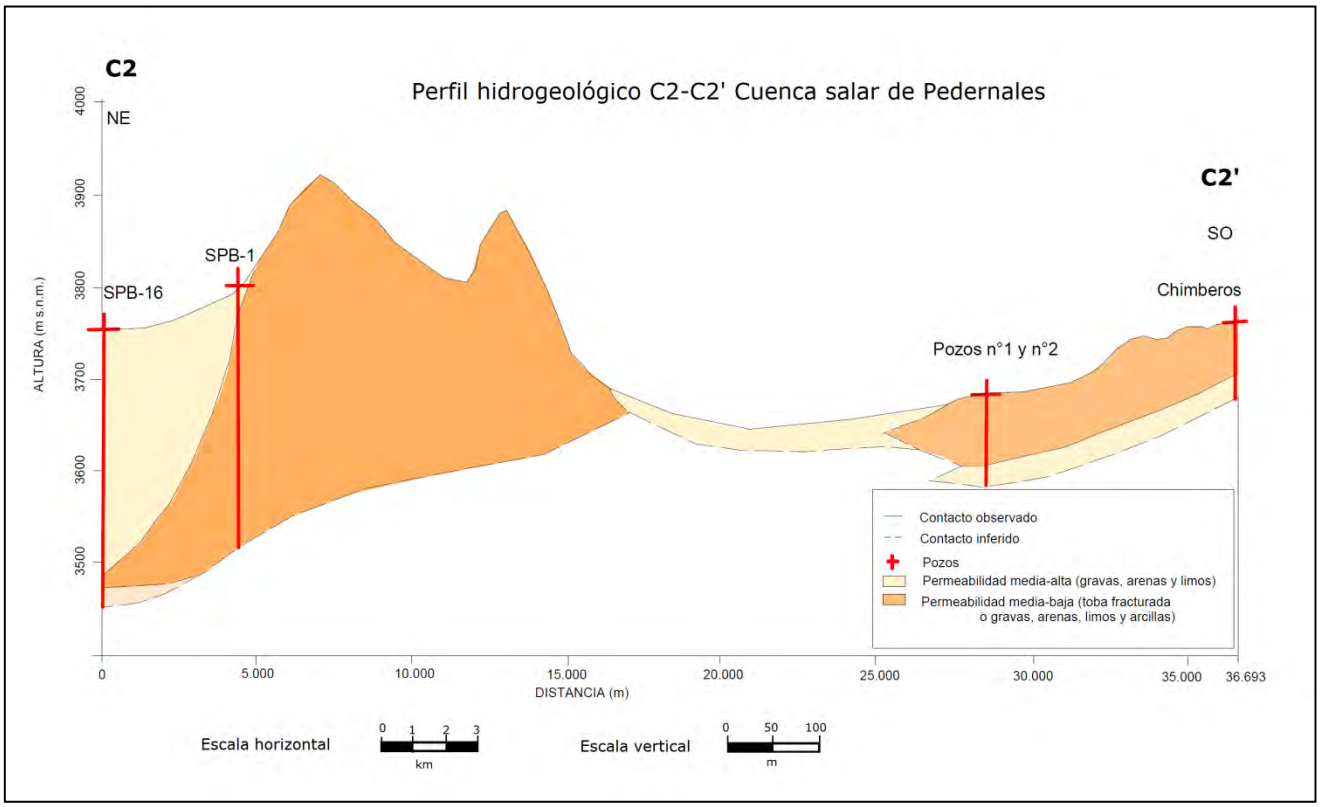


Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil hidrogeológico C2-C2' Cuenca salar de Pedernales**

En este perfil se identifica un acuífero en la unidad conformada por gravas, arenas y limos, de permeabilidad media-alta, y en la unidad de tobas fracturadas o gravas, arenas, limos y arcillas, de permeabilidad media-baja. El espesor de este acuífero es de al menos 300 m en el flanco noreste del perfil y de 30 m en la parte central (Ver Figura 10.1-10). No se reconoce ninguna unidad de baja permeabilidad a profundidad, por lo que la base del acuífero sería desconocida.

FIGURA 10.1-10
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C2-C2' CUENCA DE SALAR DE PEDERNALES



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

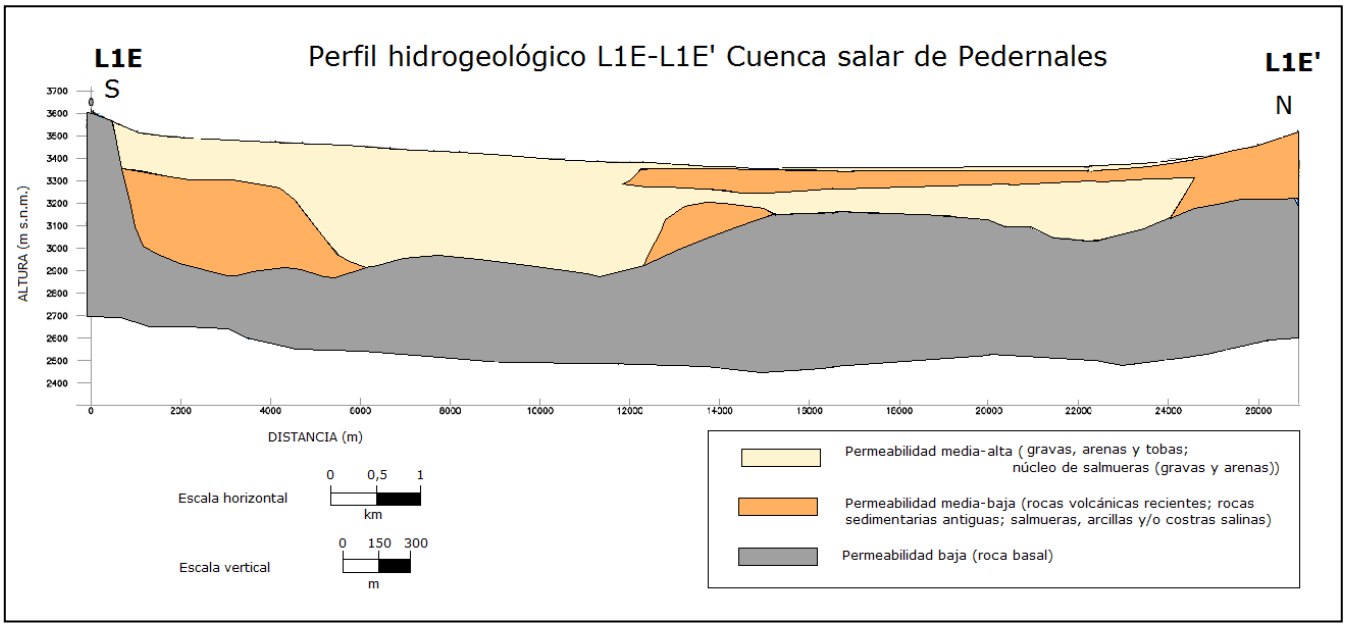
- **Perfil hidrogeológico L1E-L1E' Cuenca salar de Pedernales**

El perfil que se ilustra a continuación (Figura 10.1-11) se ubica en la zona Norte de la zona de estudio (Figura 10.1-9), posee una orientación sur-Norte y una longitud mayor a 26 km.

En él se identifica un acuífero en las unidades de permeabilidad media-alta, compuesta de gravas, arenas y tobas, y media-baja, correspondiente a rocas volcánicas recientes, rocas sedimentarias antiguas y arcillas y/o costras salinas.

Este acuífero posee una potencia promedio de 300 m aproximadamente y su base corresponde a una roca basal de permeabilidad baja. Hacia el flanco Sur, se observa uno de los límites laterales del acuífero.

FIGURA 10.1-11
PERFIL HIDROGEOLÓGICO L1E-L1E' CUENCA SALAR DE PEDERNALES



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil hidrogeológico L2N-L2N' Cuenca salar de Pedernales**

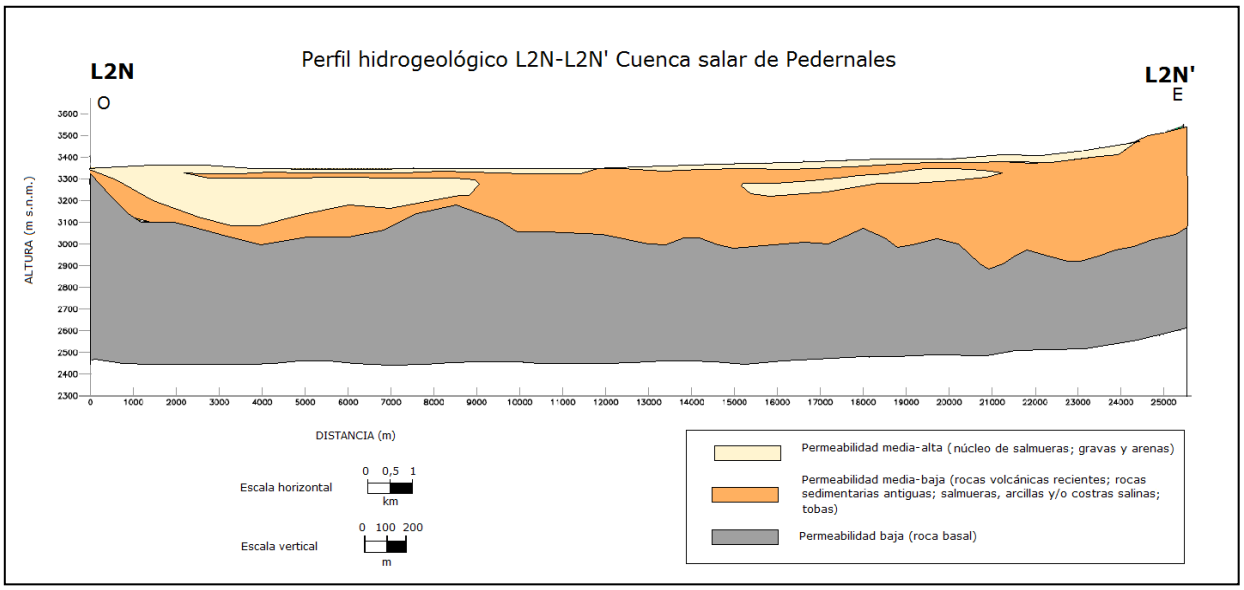
Al igual que el perfil anterior, éste se ubica en la zona Norte del área de estudio. Posee una orientación oeste-este y una longitud de casi 26 km.

Está compuesto por 3 unidades hidrogeológicas (Figura 10.1-12). La primera, de permeabilidad media-alta, correspondiente a núcleos de salmuera, gravas y arenas, se observa en la parte superior del perfil y en dos lentes ubicados hacia los flancos.

La segunda unidad corresponde a rocas volcánicas recientes, rocas sedimentarias antiguas, y a salmueras, arcillas y/o costras salinas. Posee una permeabilidad media-baja y se encuentra bajo la primera unidad, a excepción del flanco este donde aflora en superficie.

La tercera unidad corresponde a una roca basal de baja permeabilidad ubicada en toda la base del perfil, a unos 500 m de profundidad hacia el este y a unos 30 m hacia el Oeste.
El acuífero se identifica en la unidad de permeabilidad media-alta y la de permeabilidad media-baja, mostrando una mayor potencia hacia el este del perfil. La unidad de permeabilidad baja acota el acuífero en profundidad y, en el flanco Oeste, lateralmente.

FIGURA 10.1-12
PERFIL HIDROGEOLÓGICO L2N-L2N'
CUENCA SALAR DE PEDERNALES



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

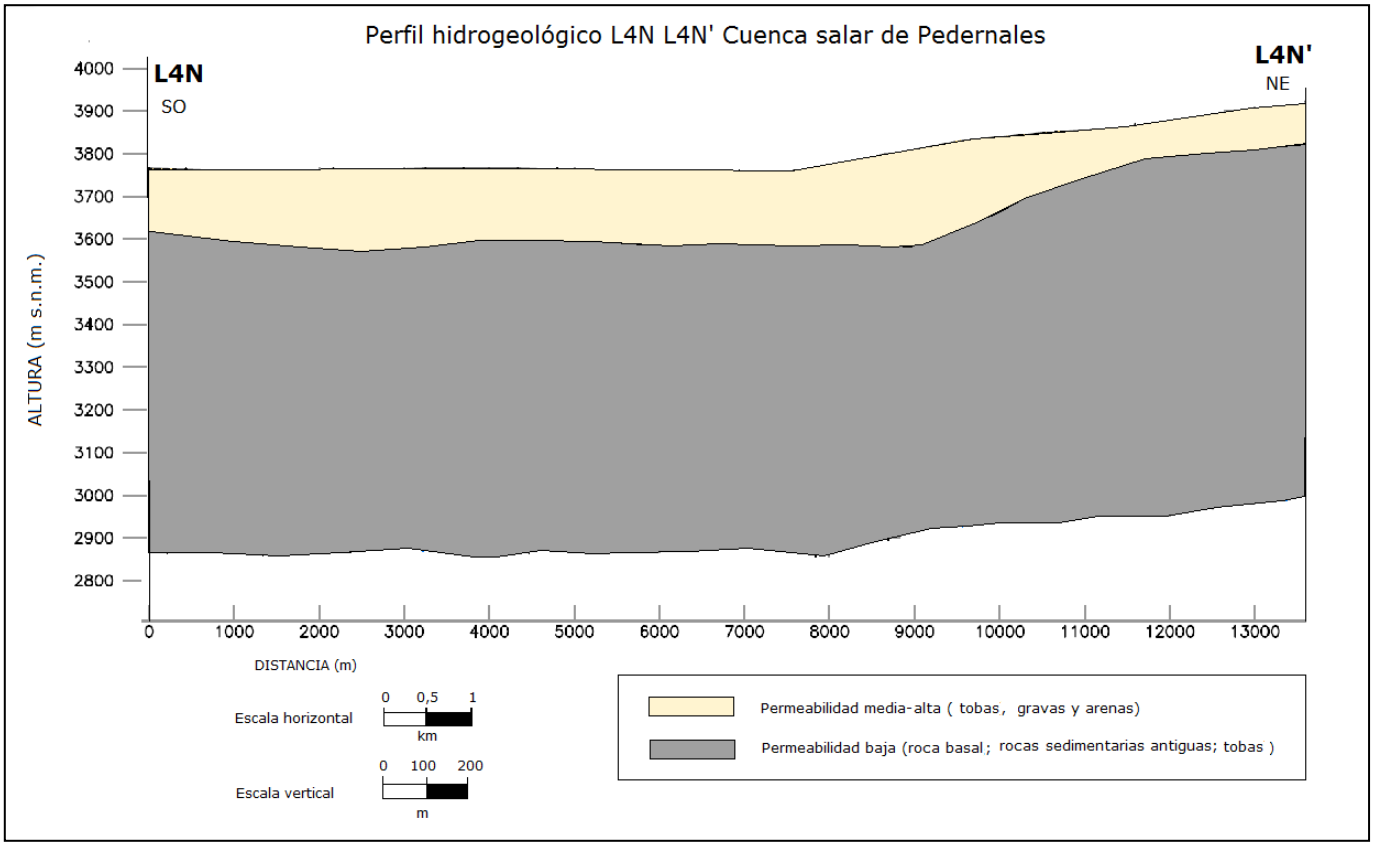
- **Perfil hidrogeológico L4N-L4N' Cuenca salar de Pedernales**

El perfil que se ilustra a continuación, es el más austral de la cuenca, posee una orientación suroeste-noreste y una longitud mayor a 13 km (Figura 10.1-9).

En él, el acuífero se encuentra asociado a una unidad de permeabilidad media-alta, compuesta de tobas, gravas y arenas, y posee una potencia de 150 m promedio (Figura 10.1-13).

Su base corresponde a una unidad de permeabilidad baja compuesta de rocas sedimentarias antiguas, tobas y roca basal.

FIGURA 10.1-13
PERFIL HIDROGEOLÓGICO L4N-L4N'
CUENCA SALAR DE PEDERNALES



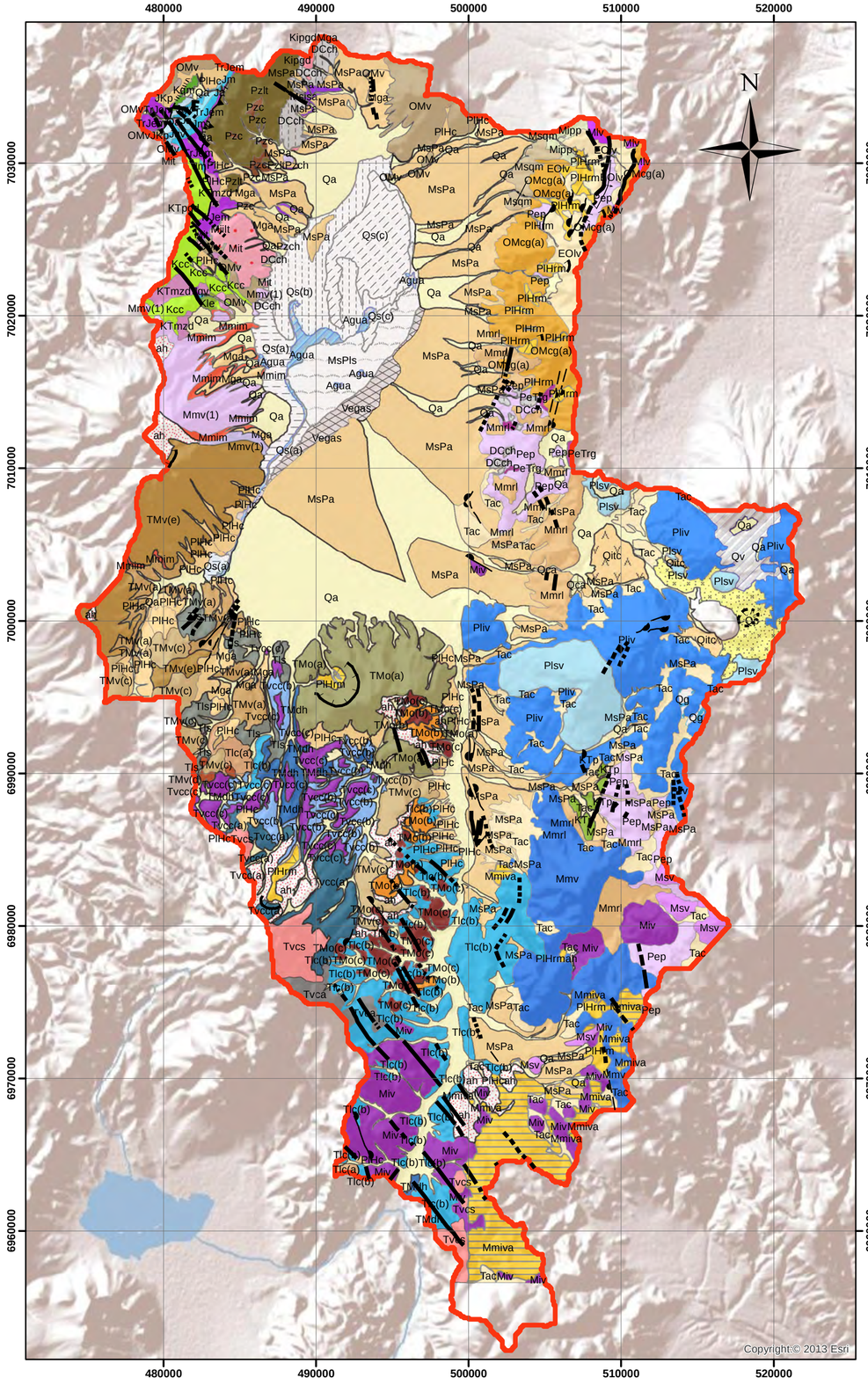
Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

10.1.6. Cuenca N° 28. Salar de Maricunga

a) Marco Geológico

Conforme a los antecedentes recabados y analizados, se estructuró el mapa geológico que se adjunta. En éste se presentan los tipos litológicos existentes en la cuenca de acuerdo a sus características petrográficas y cronológicas.

Mapa Geológico Cuenca N° 28
Salar de Maricunga



0 5 10 20 30 40 Kilometers

Mapa modificado de la recopilación de las hojas Laguna del Negro Francisco (Iriarte y Mpodozis, 1995), Salar de Maricunga (Cornejo et al, 1996), Nevado Ojos del Salado (Gardeweg et al, 1997) y Salar de Wheelwright (Clavero et al, 2012), correspondientes al Servicio Nacional de Geología y Minería.

Cuaternario

- Depósitos aluviales (Qa)
- Depósitos coluviales (PlHc)
- Remociones en masa (PlHrm)
- Depósitos carbonatados (Qca)
- Ignimbrita Tres Cruces (Qitc)
- Depósitos piroclásticos pumíceos (Qp)
- Depósitos glaciares (Qg)
- Derrubios del macizo Tres Cruces (Qv)
- Qs(a)
- Qs(b) Depósitos salinos del Salar de Maricunga
- Qs(c)

Plioceno

- Conjunto de volcanes del Plioceno Superior (Plsv)
- Conjunto de Volcanes del Plioceno Inferior (Pliv)

Mioceno

- Ignimbrita San Andrés (Msisa)
- Gravas de la Quebrada Manantiales (Msqm)
- Conjunto de Volcanes del Mioceno Superior (Msv)
- Depósitos antiguos del Salar de Maricunga (MsPls)
- Depósitos aluviales antiguos (MsPa)
- Lavas de Dos hermanas (TMdh)
- Gravas de Atacama (Mga)
- Ignimbrita Maricunga (Mmim)
- Flujos piroclásticos del Mioceno medio (Mmv(1))
- Ignimbritas del valle ancho (Mmiva)
- Estratos de río Lamas (Mmrl)
- Conjunto de volcanes del Mioceno Medio (Mmv)
- Lavas y domos del Mioceno(Mlv)
- Depósitos coluviales antiguos (Tac)
- Lavas de soledad (Tls)
- Estratos de piedra pómez (Mipp)
- Domos torito y toro sal (Mit)
- Ignimbrita los terneros (Miilt)
- Lavas y domos del Mioceno inferior (Miv)

Estratovolcanes del Mioceno Medio-Superior

- Lavas andesíticas y dacíticas (TMo(a))
- Pórfidos auríferos (TMo(b))
- Domos dacíticos (TMo(c))

Complejo Volcánico Copiapó.

- Lavas dacíticas del cono Copiapó (Tvcs)
- Lavas del volcán Azufre (Tvca)
- Lavas y domos del volcán Copiapó (Tvcc(a))
- Flujos ignimbríticos del volcán Copiapó (Tvcc(b))
- Ignimbrita Copiapó I (Tvcc(c))

Estratovolcanes del Mioceno Medio-Inferior

- Ignimbrita Santa Rosa (TMv(a))
- Lavas andesíticas (TMv(c))
- Domos extrusivos dacíticos (TMv(d))
- Depósito de bloques y cenizas (TMv(e))

Oligoceno

- Lavas y domos del Oligoceno- Mioceno (OMv)
- Estratos de Claudio Gay (OMcg(a))
- Tobas y brechas del Oligoceno-Mioceno (Tlc(a))
- Domos y pórfidos del Oligoceno-Mioceno (Tlc(b))

Eoceno

- Estratos de la Vertiente (EOlv)

Mesozoico

- Estratos de Quebrada Los Patos (KTp)
- Monzodioritas y pórfidos (KTmzd)
- Pórfidos granodioríticos (KTpgd)
- Estratos de Cerro Los Carneros (Kcc)
- Estratos El Leoncito (Kle)
- Pórfidos granodioríticos y monzodioríticos (Kipgd)
- Formación Quebrada Monardes (Kqm)
- Formación Pedernales (JKp)
- Formación Asientos (Ja)
- Formación Montandón (Jm)
- Estratos de Quebrada Vicuñita (Jqv)
- Estratos El Mono (TrJem)

Paleozoico

- Formación La Tabla (Pzlt)
- Intrusivos de Quebrada Caballo Muerto (Pzc)
- Granitoides Pérmico-Triásico (PeTrg)
- Formación Pantanoso (Pep)
- Formación Chinches (DCch)

Otros

- Alteración hidrotermal (ah)
- Agua
- Vegas

Estructuras cuenca 28

- Falla de rumbo siniestral
- Falla inversa
- Anticlinal
- Sinclinal
- Falla normal inferida
- Falla normal
- Lineamiento
- Escarpe

Referencias

Iriarte, S. y Mpodozis, C. 1995. Mapa Geológico de la Hoja Laguna del Negro Francisco. Servicio Nacional de Geología y Minería. Documento de Trabajo N° 9.

Cornejo, P. Mpodozis, C. Tomlinson, A. J. 1996. Hoja Salar de Maricunga, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapas Geológicos No 7, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Gardeweg, M; Mpodozis, C; Clavero, J., 1997. Mapa Geológico de la Hoja Nevado Ojos del Salado, Región de Atacama, Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile) Mapas Geológicos. Escala 1:100.000

Clavero, J; Mpodozis, C; Gardeweg, M. Valenzuela, M. 2012. Geología de las áreas Laguna Wheelwright y Paso San Francisco, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 1 mapa escala 1:100000. Santiago.

Escala: 1:250.000 Datum: WGS 1984 19S

Figura 1. Geología cuenca N°28 Salar de Maricunga

Rocas Estratificadas

- Formación Chinches (DCch) (Devónico-Carbonífero?, 231 M.a.)
  Sucesión de lutitas y areniscas arcósicas de ambiente subacuático, marino. Aflora principalmente en la zona Norte de la cuenca.

- Formación Pantanoso (Pep) (Pérmico)
  Secuencia de rocas volcánicas, volcanoclásticas y subvolcánicas, que aflora, como el basamento de la Cordillera Claudio Gay, en el sector oriente de la cuenca.

- Formación La Tabla (Pzlt) (Paleozoico Superior)
  Secuencia maciza de tobas y brechas riolíticas y andesíticas. Aflora al Norte de la Quebrada Caballo Muerto en el sector noroeste de la zona de estudio donde abarca una extensa área.

- Estratos El Mono (TrJem) (Triásico Superior-Jurásico Inferior)
  Secuencia sedimentaria detrítica, de hasta 2.00 m de espesor. Están expuestos en las quebradas Caballo Muerto y Pastos Largos, al noroeste del salar de Maricunga, en la Quebrada Casa de Tabla, al Oeste del salar, y en la zona de la mina La Coipa y portezuelo Codoceo.

- Estratos de Quebrada Vicuñita (Jqv) (Jurásico Superior)
  Unidad, principalmente, volcánica formada por lavas andesítico-basálticas vesiculares y 'sills' de la misma composición, con intercalaciones de calizas y areniscas calcáreas. Se encuentran al noroeste del salar de Maricunga en la Quebrada Caballo Muerto, donde la secuencia presenta hasta 200 m de espesor, y en el sector occidental de dicho salar.

- Formación Montandón (Jm) (Pliensbachiano-Bajociano medio?)
  Alternancia de calizas y calcilutitas fosilíferas y conglomerados finos con matriz calcárea, de espesor aproximado 300 m. Aflora en la Quebrada Caballo Muerto, al Oeste del salar de Maricunga, en la zona noroeste de la cuenca.

- Formación Asientos (Ja) (Caloviano?)
  Secuencia de calizas fosilíferas amarillas y areniscas volcanoclásticas verdes, con intercalaciones menores de lavas basálticas. Se encuentran en el sector noroeste de la cuenca.

- Formación Pedernales (JKp) (Titoniano-Valanginiano)
  Secuencia de espesor variable, entre 150 y 300 m, formada por una alternancia de calizas y areniscas calcáreas fosilíferas. Afloran en el sector noroeste de la cuenca.

- Formación Quebrada Monardes (Kqm) (Cretácico Inferior)
  Secuencia de lutitas y areniscas arcósicas continentales de unos 200 m de espesor. Corresponde a un afloramiento de escasa cobertura ubicado en el sector noroeste de la cuenca.

- Estratos El Leoncito (Kle) (Cretácico Superior)
  Secuencia de hasta 500 m de conglomerados, que aflora en la ladera occidental de la sierra El Leoncito, al sureste del salar de Pedernales y al Oeste del salar de Maricunga.

- Estratos de Cerro Los Carneros (Kcc) (85?-65 M.a.)
  Secuencia volcánica de hasta 2.000 m, ubicada al Oeste del salar de Maricunga donde presenta tres niveles estratigráficos.

- Estratos de Quebrada Los Patos (KTp) (Cretácico?-Terciario?)
  Secuencia sedimentaria clástica continental, medianamente a bien consolidada, constituida por conglomerados mal seleccionados y areniscas rojas. Afloran en el sector sur-oriente de la cuenca.

- Estratos de la Vertiente (EOlv) (Eoceno-Oligoceno?, ca. 25 M.a.)
  Secuencia volcánica ubicada en la parte central y septentrional de la Cordillera Claudio Gay en el sector nororiente de la cuenca.

- Tobas y brechas del Oligoceno-Mioceno (Tlc(a)) (23-18 M.a.)
  Brechas de explosión, depósitos de flujos piroclásticos y extensos depósitos de caída plinianos, asociados a los Domos y pórfidos del Oligoceno-Mioceno (Tlc(b)). Aflora en el borde suroccidental y en el sector centro-oeste de la cuenca.

- Lavas y domos del Oligoceno- Mioceno (OMv)
  Remanentes de edificios volcánicos de poca extensión areal (sólo al Oeste de la Cordillera Claudio Gay). Se encuentran en la zona Norte de la cuenca.

- Estratos de Claudio Gay (OMcg(a)) (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, ca. 26-21 M.a.)
  Facie volcanoclástica de los Estratos de Claudio Gay. Se encuentra en el núcleo y en el flanco occidental de la Cordillera Claudio Gay, en el sector nororiente de la cuenca.

- Ignimbrita los terneros (Miilt) (Mioceno)
  Depósito de flujo piroclástico pumíceo, que ocurre en el sector occidental del salar de Maricunga.

- Lavas y domos del Mioceno inferior (Miv) (ca. 20-18 M.a.)
  Secuencia de lavas andesíticas y domos riodacíticos. Corresponden a productos lávicos proximales dispuestos en forma subhorizontal o con ligera inclinación primaria. Afloran en la zona Sur de la cuenca.

- Estratos de piedra pómez (Mipp) (ca. 18 M.a.)
  Depósitos de bloques y ceniza semi a bien consolidados. Presentan una potencia máxima de 150 m, en capas de 5 a 20 m de espesor. Afloran al nororiente de la cuenca.

- Lavas de soledad (Tls) (ca. 20 M.a.)
  Coladas de lava andesíticas y dacíticas correspondientes a vestigios de un centro volcánico erodado ubicado en las inmediaciones del prospecto Soledad, en el sector suroeste de la cuenca.

- Ignimbritas del valle ancho (Mmiva) (15,9 M.a.)
  Depósito de flujo piroclástico dacítico, rico en pómez, de proveniencia desconocida. Afloran principalmente en Valle Ancho, al Sur de la cuenca.

- Conjunto de volcanes del Mioceno Medio (Mmv) (16-14 M.a.)
  Extenso conjunto de remanentes de edificios volcánicos, lavas aisladas y domos que aflora principalmente en la zona sureste de la cuenca.

- Estratos de río Lamas (Mmrl) (ca. 16 M.a.)
  Depósitos de gravas fluviales y aluviales semiconsolidados, inmersos en una matriz arenosa. Aflora principalmente en el sector suroccidental de la Cordillera Claudio Gay, en la región oriente de la cuenca.

- Ignimbrita Maricunga (Mmim) (18-14 M.a.)
  Toba dacítica blanquecina de lapilli grueso no soldado con biotita y hornblenda. Afloran tanto en la ladera occidental, como en la oriental del volcán Ojo de Maricunga -en el noroeste de la cuenca - cubiertos por las Gravas de Atacama (Mga) y depósitos piroclásticos asociados al volcán.

- Gravas de Atacama (Mga) (17-9 M.a.)
  Gravas y arenas gruesas polimícticas, mal consolidadas, disectadas por el drenaje actual y depositadas en superficies pediplanizadas. Incluye intercalaciones ignimbríticas débilmente soldadas. Afloran en la periferia de los centros volcánicos oligo-miocenos, que constituyen el eje de la Franja de Maricunga.

- Lavas de Dos Hermanas (TMdh) (8-7 M.a.)
  Lavas y depósitos de bloques de composiciones andesíticas y andesíticas-basálticas provenientes del volcán Dos Hermanas. Se encuentran en el sector suroeste de la cuenca.

- Conjunto de volcanes del Mioceno Superior (Msv) (8-5 M.a.)
  Conjunto de volcanes de pequeño tamaño y extensión reducida. Corresponden a centros erodados, donde las coladas no preservan sus rasgos originales y el domo ha perdido su carcaza brechosa original. Se encuentran en el sector sur-oriente de la cuenca.

- Gravas de la Quebrada Manantiales (Msqm) (Mioceno Superior)
  Depósitos esencialmente aluviales constituidos por gravas, arena y limo, polimícticos, mal seleccionados. Presenta intercalación de la ignimbrita San Andrés (Msisa). Se disponen al nororiente de la cuenca, en el borde occidental de la Cordillera Claudio Gay.

- Ignimbrita San Andrés (Msisa) (Mioceno Superior, 10-9 M.a.)
  Depósito de flujo piroclástico correspondiente a una toba riolítica cinerítica de color rosado y blanco. Aflora, generalmente, bajo la cubierta aluvial antigua (MsPa) en el sector centro-norte de la cuenca, en la vertiente occidental de la Franja de Maricunga, donde se encuentra 'colgada' sobre los valles principales, sellando una superficie de pedimentación en las Gravas de Atacama (Mortimer, 1973). Abarca un área muy reducida.

- Conjunto de volcanes del Plioceno Inferior (Pliv) (5-3 M.a.)
  Conjunto de volcanes compuestos por grande edificios aislados mixtos y por afloramientos distales de coladas que constituyen el

basamento o facie inicial de edificios del Plioceno Superior y del Cuaternario. La composición de las lavas es más heterogénea que las del Plioceno Superior e incluye dacitas y andesitas. Se ubican, al igual que Plsv, en el sector centro-oriente de la cuenca en la región del macizo Tres Cruces, pero esta unidad abarca un área mayor.

- Conjunto de volcanes del Plioceno Superior (Plsv) (ca. 3-2 M.a.)
  Conjunto de volcanes constituido por edificios aislados mixtos y por afloramientos distales de coladas que constituyen el basamento o facie inicial de los macizos del Cuaternario. Se concentra en la zona centro-oriente de la cuenca en la región cercana al macizo Tres Cruces.

- Ignimbrita Tres Cruces (Qitc) (Cuaternario)
  Depósito de flujo piroclástico de ceniza y pómez asociado al centro más austral del macizo Tres Cruces. Se ubican en el sector centro-oriente de la cuenca, específicamente en el Llano de Tres Cruces, donde los depósitos son reducidos y de escaso espesor (< 2 m).

Rocas Intrusivas

- Granitoides Pérmico-Triásico (PeTrg) (ca. 266-231 M.a.)
  Grupo de cuerpos intrusivos que aflora en el sector centro-occidental del área de estudio, en la Cordillera Claudio Gay. En sectores intruyen a tobas riolíticas y riolitas de la Formación Pantanoso y a rocas de la Formación Chinches.

- Intrusivos de Quebrada Caballo Muerto (Pzc) (Pérmico)
  Al Sur del Batolito Pedernales, intruyendo a la Formación La Tabla (Pzlt), ocurren algunos cuerpos intrusivos independientes y separados de éste, formados principalmente por monzogranitos y cuerpos menores de pórfidos riolíticos. Afloran en el sector noroeste de la cuenca, al Norte del salar de Maricunga.

- Pórfidos granodioríticos y monzodioríticos (Kipgd) (104-101 M.a.)
  'Stocks' de pequeño diámetro (1-3 km^2) que intruyen a la Formación Chinches (DCch), al Norte de Quebrada Caballo Muerto, en la zona Norte de la zona de estudio.

- Pórfidos granodioríticos (KTpgd) (ca. 66-64 M.a.)
  Intrusivos hipabisales de tamaño reducido (<1 km2), emplazados en los niveles inferiores de los Estratos de Cerro Los Carneros (Kcc) (Cerros Codoceo y del Toro) y dos 'stocks' de tamaño medio (1-2

km2) que ocurren en a Quebrada Pastos Largos, todos ubicados al noroeste de la zona de estudio.

- Monzodioritas y pórfidos (KTmzd) (ca. 66 M.a.)
  'Stocks' de pequeño tamaño (1-3 km^2) que intruyen a los Estratos El Mono (TrJem) y Estratos de Cerro Los Carneros (Kcc), en los cerros Codoceo y del Toro, en la zona noroeste de la cuenca.

- Domos y pórfidos del Oligoceno-Mioceno (Tlc(b)) (23-18 M.a.)
  Sistema de múltiples domos y pórfidos coalescentes de composiciones dacíticas y andesíticas de pequeño diámetro (< 1,5 km) asociados a fallas de rumbo de orientación noroeste activas al momento de su emplazamiento. Se ubican en la zona Sur de la cuenca.

- Domos torito y toro sal (Mit) (20-18 M.a.)
  Edificios volcánicos de pequeñas dimensiones (1-2 km de diámetro), ubicados en el borde occidental del salar de Maricunga, donde cubren a tobas alteradas del Oligoceno Superior y a rocas triásicas y paleozoicas.

Depósitos no consolidados

- Depósitos coluviales antiguos (Tac) (Triásico)
  Depósito no consolidados compuesto de gravas, ripios, arenas y limos asociados a sistemas de drenaje inactivo y a taludes y conos aluviales disectados por el relieve actual. Se ubican en el sector suroriente de la cuenca.

- Flujos piroclásticos del Mioceno medio (Mmv(1)) (Mioceno)
  Corresponden a depósitos de tipo bloques y ceniza ('block and ash'), con bloques densos, de composición dacítica, y material fino, no cohesivo. Se ubican en el sector poniente del salar de Maricunga, al nor-oeste de la cuenca.

- Depósitos aluviales antiguos (MsPa) (Mioceno Superior-Plioceno Inferior)
  Bancos de gravas y bloques de bajo redondeamiento y selección, matriz-soportados, consistente en abundante arena y limo, y locamente lentes de arena fina. Se ubican a lo largo de toda la cuenca, pero en la zona Norte estos depósitos abarcan áreas mayores que en la zona Sur.

- Depósitos antiguos del Salar de Maricunga (MsPls) (Mioceno Superior-Plioceno)
  Costras sulfatadas y boratadas que afloran en la zona suroriental del salar, levantadas entre 1 y 2 m sobre el nivel de las lagunas salobres y costras de cloruros del sector occidental.

- Depósitos aluviales (Qa) (Cuaternario)
  Arenas, gravas y limos asociados a sistemas de drenaje ocasional o cauces inactivos. En esta cuenca, los depósitos forman conos aluviales extendidos de baja pendiente, que disectan a depósitos aluviales antiguos. Se encuentran principalmente en los alrededores del Salar de Maricunga –sector Norte de la cuenca- y en las quebradas, en especial en la línea de talweg –sector Sur de la cuenca.

- Depósitos coluviales (PlHc) (Cuaternario)
  Sedimentos formados por bloques angulosos, comúnmente monomícticos, y arenas, que ocurren en las laderas de fuerte pendiente. Se encuentran en el sector poniente de la cuenca, en zonas donde existe una fuerte disminución de pendiente.

- Remociones en masa (PlHrm) (Cuaternario)
  Sedimentos compuestos por bloques métricos y material disgregado in situ, producto de transporte gravitacional. Se ubican principalmente en el sector nororiente de la cuenca.

- Depósitos carbonatados (Qca) (Cuaternario)
  Travertinos y travertinos arenosos asociados a la quebrada del río Lamas y el borde occidental del Llano Tres Cruces, en el sector centro-oriente de la cuenca donde abarcan un área bastante reducida.

- Depósitos piroclásticos pumíceos (Qp) (Cuaternario)
  Depósitos pumíceos no consolidados asociados al volcán Tres Cruces. Se ubican en el sector centro-oriente de la cuenca, al sur-poniente del macizo Tres Cruces.

- Depósitos glaciares (Qg) (Cuaternario)
  Incluye morrenas de fondo y laterales y depósitos periglaciares correspondientes a gravas y bloques polimícticos inmersos en una matriz de limo-arena. Se encuentran en el sector centro-oriente, en la zona de Volcanes del Plioceno Inferior (Pliv).

- Derrubios del macizo Tres Cruces (Qv) (Cuaternario)
  Depósitos de rocas fragmentadas por efecto de la gravedad y el agua que se sitúan en la base de los cerros. Se ubican en el sector centro-oriente de la cuenca, rodeados de Volcanes del Plioceno Inferior y Superior (Pliv y Plsv).

- Depósitos salinos del Salar de Maricunga (Cuaternario):
  Sales y limos salinos, que cubren un área aproximada de 140 km^2 (65% de la superficie del salar) y ocurren en la zona occidental del salar. En los depósitos recientes se han diferenciado tres facies de carácter 'textural-composicional':

  - Qs (a): Costra de halita en bloques;
  - Qs (b): Costra plana de halita;
  - Qs (c): Lámina de halita.

Estratovolcanes del Mioceno Medio-Inferior (16-14 M.a.)

Estratovolcanes moderada a escasamente erodados, ubicados en los sectores sur-poniente y centro-poniente de la zona de estudio. Incluyen:

- Ignimbrita Santa Rosa (TMv(a))
- Lavas andesíticas (TMv(c))
- Domos extrusivos dacíticos (TMv(d))
- Depósito de bloques y cenizas (TMv(e))

Complejo Volcánico Copiapó (11-7 M.a.)

Incluye estratovolcanes, depósitos de flujos piroclásticos, domos y pórfidos intrusivos. Aflora en el sector suroeste de la cuenca y se construyó en dos etapas, una temprana y una tardía, las cuales incluyen las siguientes unidades:

- Etapa Tardía:
-
  - Lavas dacíticas del cono Copiapó (Tvcs)

- Etapa Temprana:

  - Lavas del volcán Azufre (Tvca)
  - Lavas y domos del volcán Copiapó (Tvcc(a))

- Flujos ignimbríticos del volcán Copiapó (Tvcc(b))
- Ignimbrita Copiapó I (Tvcc(c))
-

Estratovolcanes del Mioceno Medio-Superior (13-11 M.a.)

Estratovolcanes moderadamente erodados, domos e intrusivos subvolcánicos asociados a una importante actividad hidrotermal y mineralización aurífera. Se encuentran en el sector centro-sur de la cuenca y están conformados principalmente por:

- Lavas andesíticas y dacíticas (TMo(a)) (ca. 13-12 M.a.)
- Pórfidos auríferos (TMo(b)) (ca. 13-11 M.a.)
- Domos dacíticos (TMo(c))

Estructuras

Las estructuras en la zona de estudio se pueden agrupar, según sus orientaciones preferentes, en 2 grandes grupos (Ver mapa geológico).

El primero de ellos presenta rumbo noroeste y corresponde a variados lineamientos y una falla normal. Se ubica en el noroeste y Sur de la cuenca, lugar donde cubre una mayor área.

El segundo, con orientaciones nor-noroeste y nor-noreste, se encuentra a lo largo de toda la cuenca, principalmente, al oriente. Está constituido por lineamientos y falas normales observadas e inferidas. La importancia de este grupo radica en que, en la zona central, pasa por los depósitos no consolidados aluviales antiguos (MsPa) y del cuaternario (Qa).

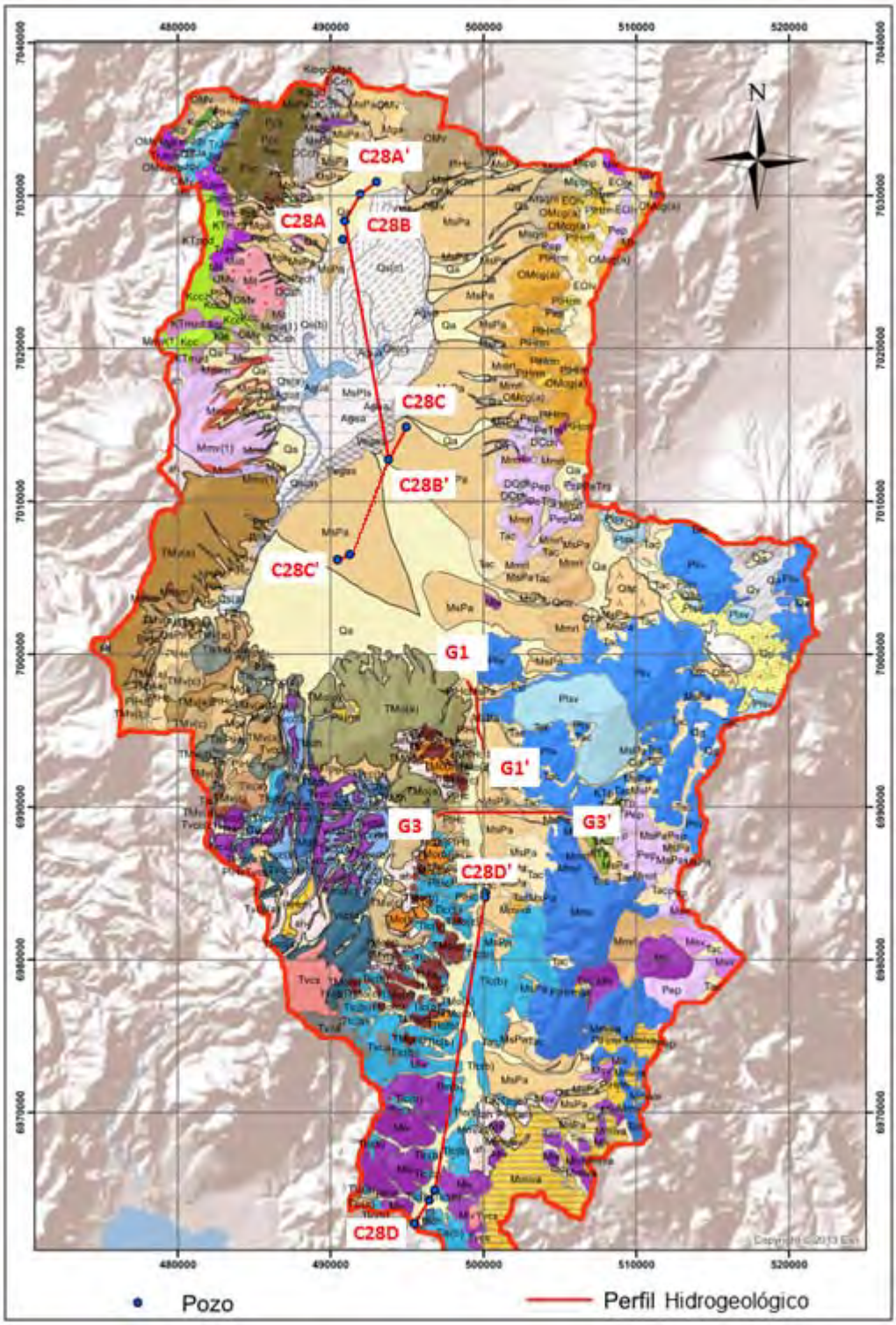
b) Perfiles Hidrogeológicos

De acuerdo a la información aportada por las descripciones estratigráficas de diversos pozos (Cuadro 10.1-5), se trazaron 4 perfiles en la cuenca salar de Maricunga, ubicados como se ilustra en la Figura 10.1-14. Se cuenta, además, con 2 perfiles levantados por Golder Associates en junio de 2011.

CUADRO 10.1-5
COORDENADAS Y COTA DE POZOS DE LOS PERFILES DE LA CUENCA DE MARICUNGA

Perfil	Nombre Pozo	Coordenadas (Datum WGS84, huso 19S)		Cota (m s.n.m.)
		Norte (m)	Este (m)	
C28A-C28A'	SR-3	7.032.074	493.018	3759
	SR-4	7.031.260	491.958	3771
	SP-2	7.029.507	490.945	3773
C28B-C28B'	SP-2	7.029.507	490.945	3773
	SP-1	7.013.898	493.814	3764
C28C-C28C'	Pozo Nº4	6.985.577	500.129	4091
	Pozo Nº3	6.985.282	500.134	4092
	RA-3	6.966.121	496.839	4256
	RA-2	6.963.923	495.517	4273
C28D-C28D'	SP-4	7.007.348	490.466	3811
	SP-3	7.007.697	491.265	3813
	SR-2	7.007.979	492.109	3808
	SP-1	7.013.898	493.814	3764
	SR-1	7.016.044	494.965	3771

FIGURA 10.1-14
UBICACIÓN PERFILES TRAZADOS EN LA CUENCA SALAR DE MARICUNGA



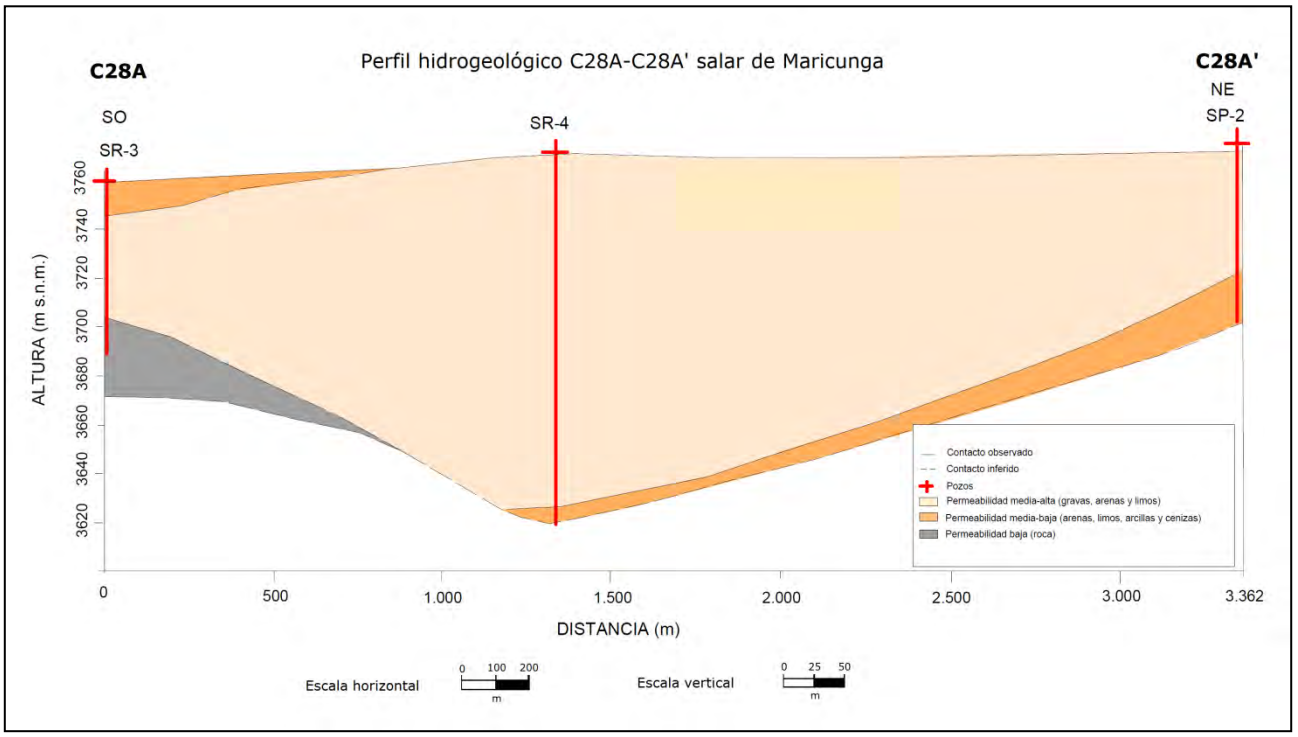
Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

A continuación se describe, detalladamente, cada uno de los perfiles.

- **Perfil hidrogeológico C28A-C28A' Cuenca Salar de Maricunga**

Este perfil se ubica en la zona Norte del salar de Maricunga (Ver Figura 10.1-15) y se estructuró en base a la información disponible de los pozos SR-3, SR-4 y SP-2. Posee una orientación suroeste-noreste y una longitud de 3.362 m.

FIGURA 10.1-15
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C28A-C28A' CUENCA SALAR DE MARICUNGA



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

Se identifica un acuífero en la unidad de permeabilidad media-alta – conformada por gravas, arenas y limos- y en la unidad de permeabilidad media-baja – constituida por gravas, arenas, limos y arcillas. El espesor máximo es de 150 m, aproximadamente, el cual se observa en la zona central del perfil. Hacia los flancos, la potencia del acuífero disminuye a unos 70 m, aproximadamente.

Al suroeste, se identifica una unidad de baja permeabilidad de roca en la base del acuífero y una unidad de permeabilidad media-baja en

la parte superior. Esta última, disminuiría la posible infiltración de agua proveniente de las precipitaciones por la cantidad de arcillas presentes, disminuyendo la recarga del acuífero.

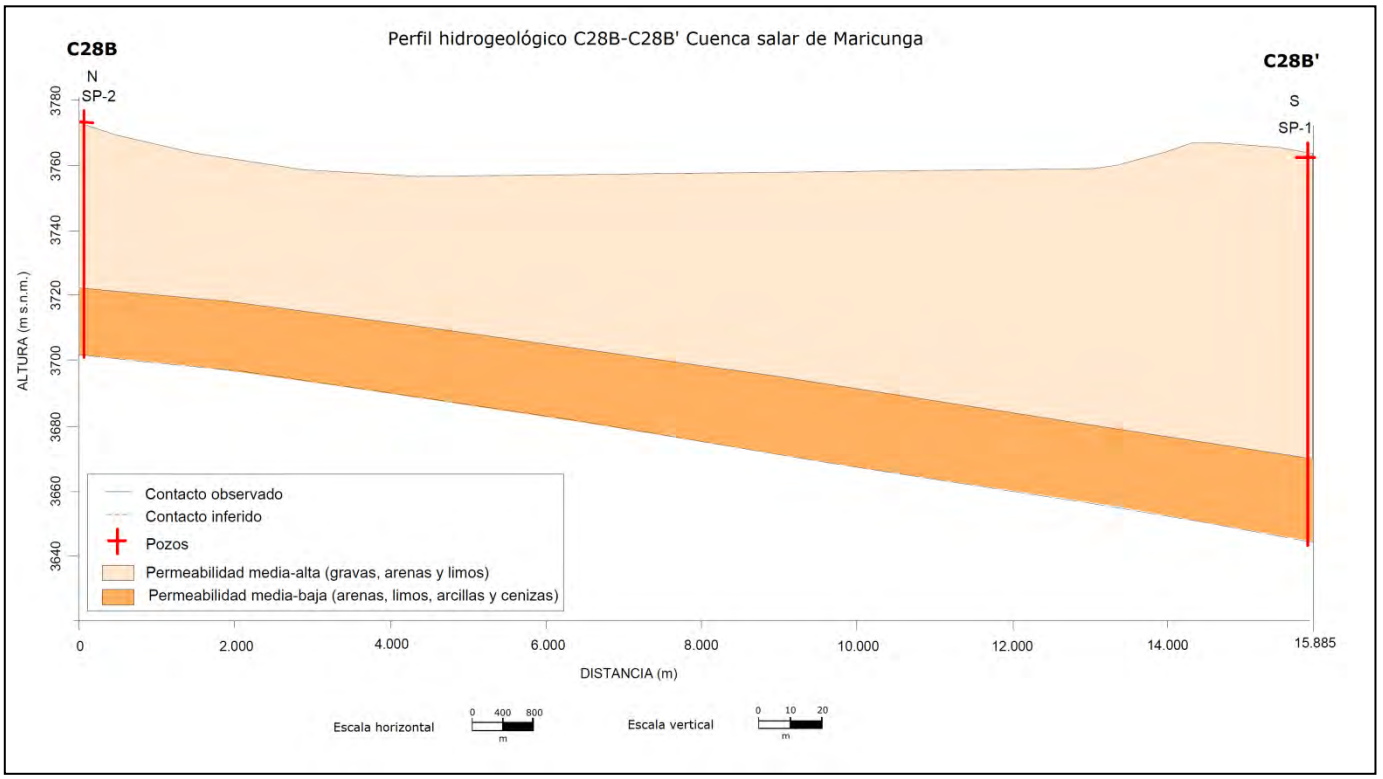
- **Perfil hidrogeológico C28B-C28B' Cuenca Salar de Maricunga**

El presente perfil se trazó a partir de 2 pozos: SP2 y SP-1, ubicados al noroeste y sureste del salar de Maricunga, respectivamente (Figura 10.1-14).

En él se reconocen 2 unidades: una de permeabilidad media-alta compuesta de gravas, arenas y limos; y otra de permeabilidad media-baja que, además de los materiales recién mencionados, contiene un alto porcentaje de arcillas. En ellas dos se identifica un acuífero de potencia mínima 175 m (Figura 10.1-16).

No se cuenta con descripciones estratigráficas de mayor profundidad, por lo que no se puede identificar la base del acuífero.

FIGURA 10.1-16
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C28B-C28B' CUENCA SALAR DE MARICUNGA



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

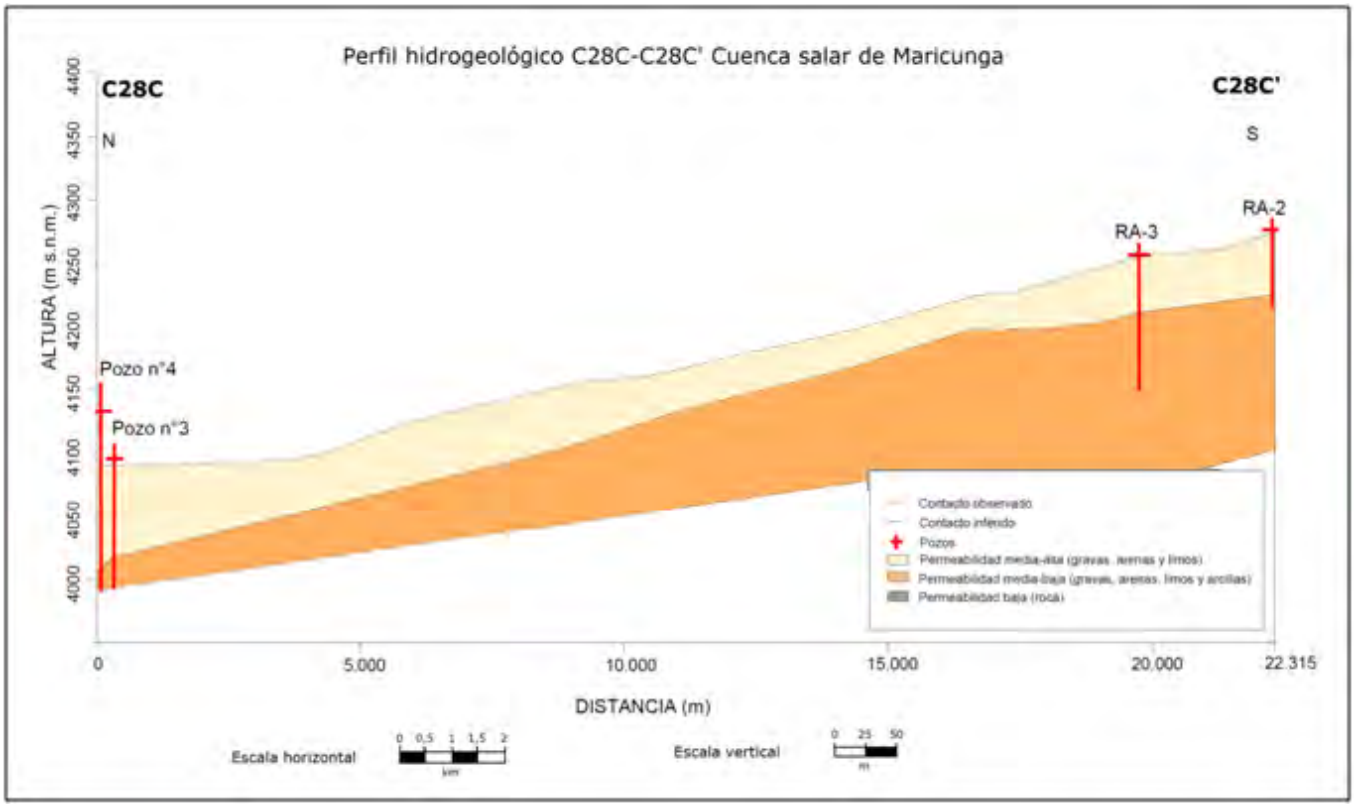
- **Perfil hidrogeológico C28C-C28C' Cuenca Salar de Maricunga**

El siguiente perfil se ubica en la zona Sur del salar de Maricunga (Figura 10.1-14). Se construyó a partir de la información estratigráfica aportada por 4 pozos (Pozo n°4, Pozo n°3, RA-3 y RA-2), posee una orientación norte-sur y una longitud de 22.315 m.

Se reconoce un acuífero en las unidades de permeabilidad media-alta y media-baja, de espesor promedio 100 m, aproximadamente (Figura 10.1-17).

En la parte central del perfil, se identifica una unidad rocosa que divide al acuífero en dos. No se tiene antecedentes de la profundidad alcanzada por ésta, pero se presume que subyace a las unidades de mayor permeabilidad, por lo que sería la base del acuífero.

FIGURA 10.1-17
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C28C-C28C' CUENCA SALAR DE MARICUNGA



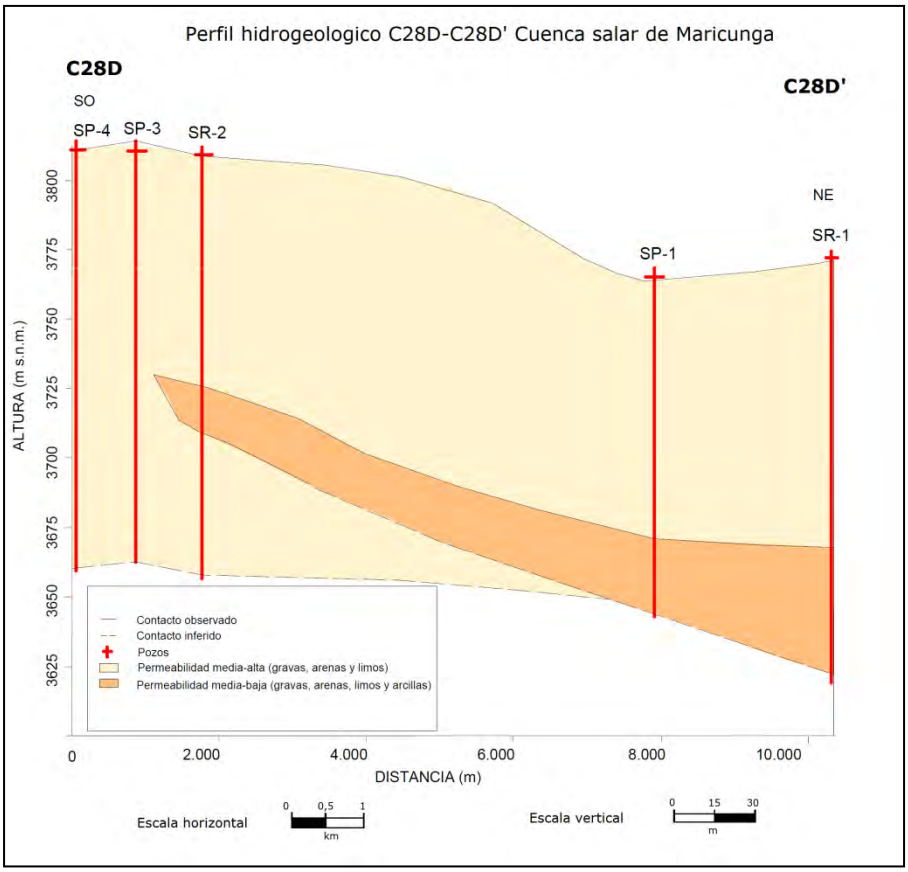
Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil hidrogeológico C28D-C28D' Cuenca Salar de Maricunga**

Este perfil se ubica en la zona Sur de la cuenca salar de Maricunga (Ver Figura 10.1-14), posee una orientación suroeste-noreste y una longitud de un poco más de 10 km. Se diseñó con la información estratigráfica de 5 pozos (SP-4, SP-3, SR-2, SP-1 y SR-1) (Ver Figura 10.1-18).

En él se pueden identificar 2 unidades de permeabilidad media-alta y media-baja, donde se encontraría el acuífero. Como no se reconoce a profundidad ninguna unidad de permeabilidad baja, no se conoce la base de este acuífero, pero sí se puede asegurar que tiene una potencia de al menos 150 m.

FIGURA 10.1-18
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C28D-C28D' CUENCA SALAR DE MARICUNGA



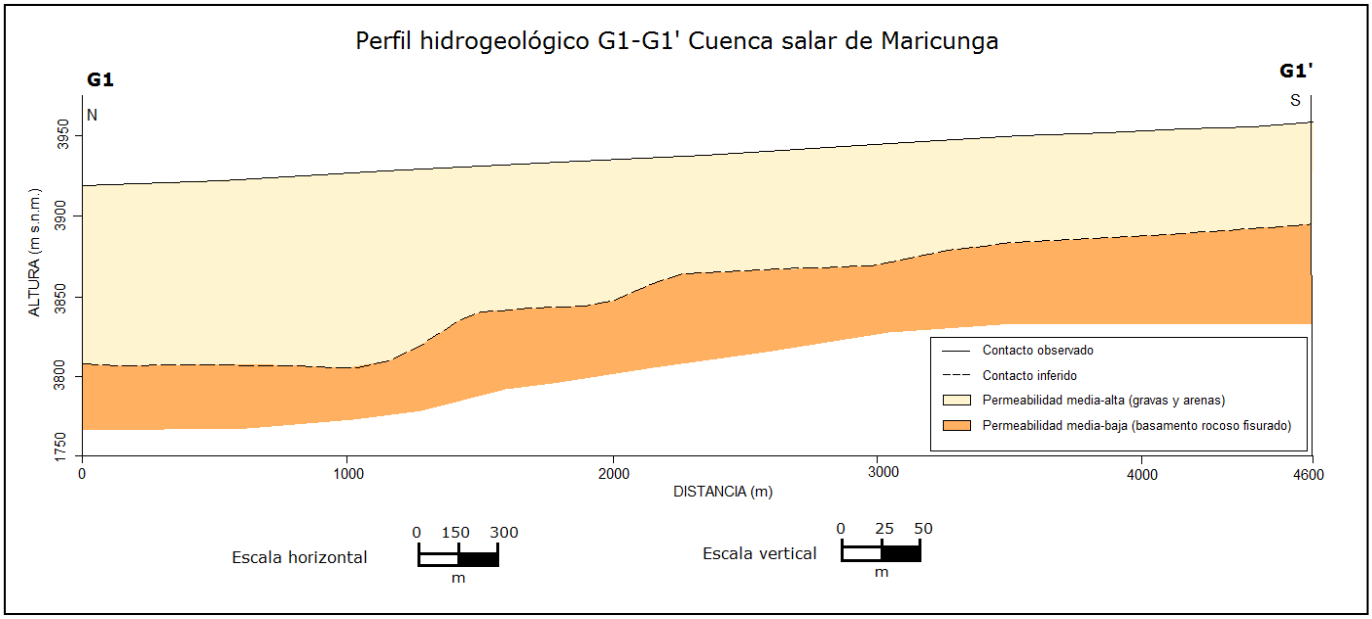
Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil hidrogeológico G1-G1' Cuenca Salar de Maricunga**

Este primer perfil, incorporado del estudio de Golder Associates, se encuentra levantado en sentido longitudinal al valle en el sector de la vega de Ciénaga Redonda (Figura 10.1-14) y posee una longitud de 4.600 m.

En la Figura 10.1-18 se puede advertir que, a todo el largo de la sección, se dispone en profundidad la roca basal fisurada, de permeabilidad media-baja. Sobreyaciendo a ésta se presenta la unidad de permeabilidad media-alta, correspondiente a gravas y arenas, la cual exhibe un gran espesor. La potencia de dicha unidad, en el tramo apical del perfil, alcanza en promedio unos 65 m, aproximadamente, para luego rematar en el sector distal en unos 120 m.

FIGURA 10.1-19
PERFIL HIDROGEOLÓGICO G1-G1' CUENCA SALAR DE MARICUNGA



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil hidrogeológico G3-G3' Cuenca Salar de Maricunga**

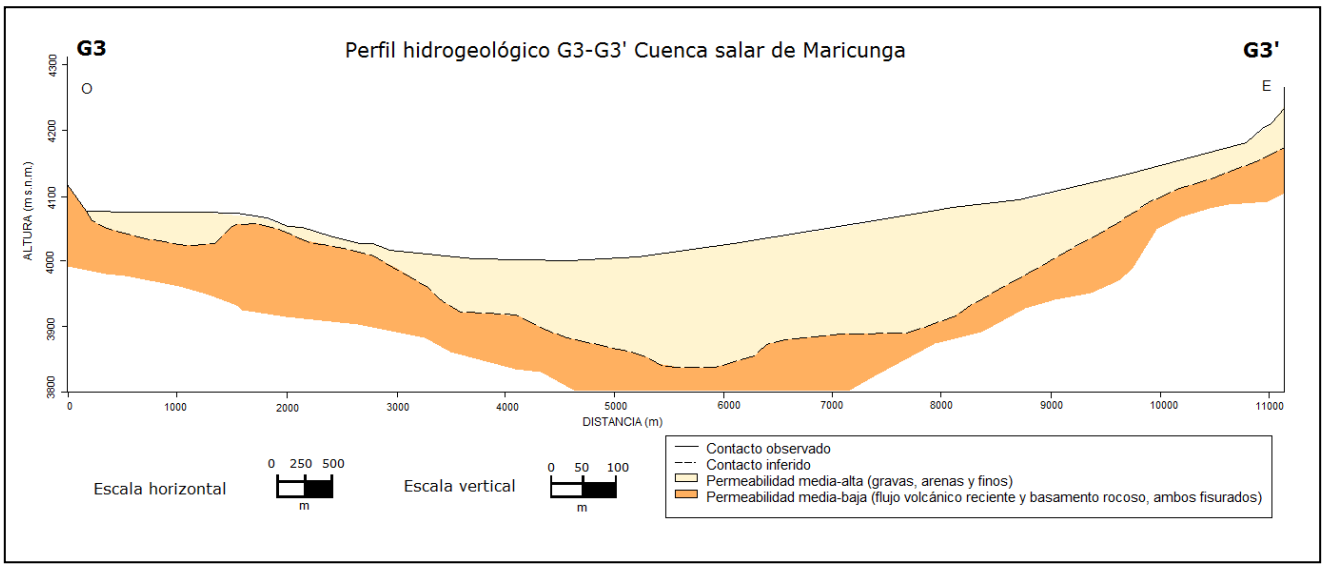
Este perfil se ubica transversal al valle (Figura 10.1-14), a la latitud de la quebrada Villalobos, que irrumpe como tributaria desde el poniente.

Al igual que en el perfil anterior, la unidad de permeabilidad media-baja muestra total continuidad y la unidad de permeabilidad media-alta exhibe una amplitud considerable (Figura 10.1-20).

El espesor del acuífero en el sector medio de la sección alcanza del orden de 200 m. Golder Associates reconoce en la unidad de permeabilidad media-alta niveles de gravas, arenas y gravas con arenas y finos que representan granulometrías condicionantes de muy buenas permeabilidades.

Finalmente, es conveniente destacar que la amplitud del medio permeable de interés es, en esta sección, aún mayor que en la anterior.

FIGURA 10.1-20
PERFIL HIDROGEOLÓGICO G3-G3' CUENCA SALAR DE MARICUNGA



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

10.1.7. Cuenca Nº 29. Quebrada Nevados de Juncalito

a) Marco Geológico

Conforme a los antecedentes recabados y analizados, se estructuró el mapa geológico que se adjunta. En éste, se presentan los tipos litológicos existentes en la cuenca de acuerdo a sus características petrográficas y cronológicas.

Rocas Estratificadas

- Fm. Pantanoso (Pep) (Pérmico)
  Secuencia de rocas volcánicas, volcanoclásticas y subvolcánicas, que aflora como el basamento de la Cordillera Claudio Gay y como pequeña ventana de erosión al este de la Caldera Laguna Escondida, y está constituido por lavas riolíticas y riodacíticas, en parte fluidales, tobas y brechas piroclásticas riolíticas rojas, con escasas intercalaciones de areniscas epiclásticas. Presenta cuerpos subvolcánicos porfídicos rojos de composición riolítica a dacítica, cogenéticos.

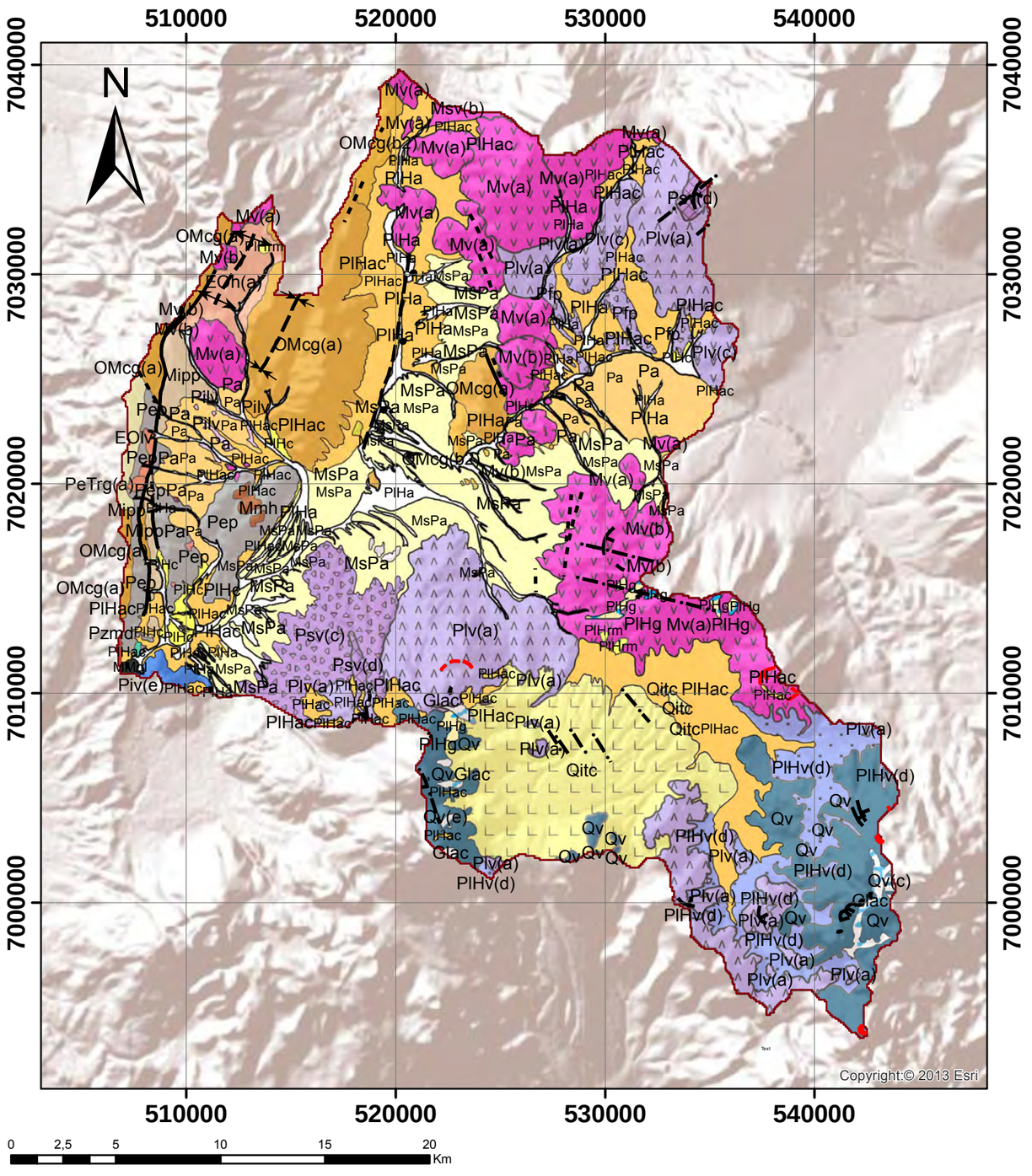
  Se encuentra en el extremo centro-occidental de la cuenca.

- Estratos de Qda. Los Patos (KTp) (Cretácico (?) – Terciario (?))
  Secuencia sedimentaria clástica continental, medianamente a bien consolidada. Formada por estratos bien definidos de hasta 1,5 m de espesor. Constituida por la alternancia de conglomerados mal seleccionados y areniscas rojas, con clastos predominantemente de volcanitas de la Fm. Pantanoso y de los granitoides que la intruyen, además de escasos fragmentos bien redondeados de volcanita más jóvenes débilmente alteradas. Su depositación es posterior a la Fm. Pantanoso y subyace a las gravas del rio Lamas.

  Se encuentra puntualmente en el extremo centro-occidental de la cuenca.

- Estratos de Huidobro (EOh) (Eoceno-Oligoceno?, ca. 25 Ma)
  Secuencia formada por dos asociaciones de facies: una volcanoclástica (a), de espesor mínimo de 300 m, y otra evaporítica (b), de espesor mínimo 100 m, ubicada en la base oriental de la Cordillera Claudio Gay. Se encuentra puntalmente en el extremo nor-occidental de la cuenca.

Mapa Geológico Cuenca N°29: Piedra Pómez



Referencias
Carta Geología de las áreas Salar de Wheelwright y Paso San Francisco, escala 1:100.000; Mapa Geológico de las Hoja Nevados Ojos del Salado, escala 1:100.000.

Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 19S, WGS1984

Litologías

Cuaternario

- Depósitos aluviales (PlHa)
- Depósitos coluviales (PlHc)
- Depósitos aluviales y coluviales (PlHac)
- Depósitos de remoción en masa (PlHrm)
- Depósitos glaciares (PlHg)
- Depósitos de caída pumíceos (PlHv(d))
- Ignimbrita Tres Cruces (Qitc)

Conjunto de volcanes del Cuaternario

- Macizos, conos y coladas de lava predominantemente dacítica (Qv)
- Escoria y conos de escoria (Qv(c))
- Derrubios del flanco del Macizo Tres Cruces (Qv(e))

Plioceno

- Depósitos aluviales (Pa)
- Ignimbrita Laguna Verde (Pilv)

Volcanes y complejos volcánicos del Plioceno

- Depósitos de flujo piroclástico (Pfp)
- Lavas andesíticas a dacíticas (Plv(a))
- Cono adventicio y lava andesítico-basáltica asociada Piv(c)
- Domos dacíticos (Piv(e))
- Depósitos piroclásticos de caída proximal (Psv(d))
- Derrubios (Psv(c))

Mioceno

- Depósitos aluviales antiguos (MsPa)
- Estratos de Piedra Pómez (Mipp)
- Gravas del Río Lamas (MMgl)

Volcanes y complejos volcánicos del Mioceno

- Lavas andesíticas y/a dacíticas (Mv(a))
- Depósitos de flujo piroclástico (Msv(b))
- Domos dacíticos - riodacíticos(Mv(b))

Rocas Intrusivas

- Intrusivos hipabisales dacíticos (Mmh)
- Intrusivos hipabisales andesíticos (Mih)

Oligoceno

Estratos de Claudio Gay

- Ignimbritas, brechas piroclásticas, depósitos de bloque y ceniza, brechas epiclásticas y lavas andesíticas sub. (OMcg(a))
- Lavas andesíticas (OMcg(b1))
- Lavas basálticas (OMcg(b2))

Eoceno

- Estratos de La Vertiente (EOlv)

Estratos de Huidobro

- Areniscas gruesas, brechas laháricas, ignimbritas de grano grueso y fino, conglomerados rojos epiclásticos. (EOh(a))
- Yeso y conglomerados-areniscas rojas sub. (EOh(b))

Mesozoico

- Estratos de Qda. Los Patos (KTp)

Paleozoico

- Fm. Pantanoso (Pep)
- Granitoides del Pérmico-Triásico (PeTrg(a))
- Monzodiorita cuarcífera de la Cuesta Los Colorados (Pzmd)

Otros

- Glaciares (Glac)

Simbología

- Cráter
- Escarpe
- Fotolineamiento
- Falla normal cubierta
- Falla observada/inferida
- Sinclinal observado/inferido
- Contacto observado
- Anticlinal observado/inferido

Figura 1. Geología cuenca N°29 Piedra Pómez

(a) areniscas gruesas, brechas lahári cas, ignimbritas de grano grueso y fino, algunas con estructuras de oleada piroclástica y, subordinadamente, conglomerados rojos epiclásticos.
(b) yeso y niveles de conglomerados y areniscas rojas subordinados.

- Estratos de La Vertiente (EOlv) (Eoceno?-Oligoceno, ca. 25 Ma)
  Secuencia volcánica ubicada en la parte central y septentrional de la Cordillera Claudio Gay, compuesta por al menos 300 m de lavas andesíticas con textura traquítica. Localmente se encuentran fuertemente alteradas a arcilla-clorita.
  Se encuentra puntalmente en el extremo nor-occidental de la cuenca.

- Estratos de Claudio Gay (OMcg) (Oligoceno superior-Mioceno inferior, ca. 26 - 21 Ma)
  Secuencia formada por dos asociaciones de facies principales: una volcanoclastica (a) y otra lavica (b), de al menos 500 m de espesor.
  Se encuentran en las zonas nor-occidental y centro-norte de la cuenca.

  (a) lgnimbritas y brechas piroclásticas de composición dacítica a riodacítica, depósitos de bloques y ceniza dacíticos, areniscas y brechas epiclásticas gruesas, y lavas andesíticas subordinadas
  (b1) lavas andesíticas
  (b2) lavas basálticas y tobas de caída basálticas

- Gravas del Río Lamas (MMgl) (Mioceno medio, ca. 16 Ma)
  Secuencia sedimentaria clástica continental con niveles evaporíticos y escasas intercalaciones volcánicas. Secuencia débilmente consolidada con bancos de <30 cm de espesor, bien definidos a lenticulares, con predominio de brechas mal seleccionadas, de clastos angulosos con intercalaciones de areniscas con estratificación cruzada y depósitos de flujos de barro con base fina. Presenta intercaladas ignimbritas blancas, débilmente soldadas. Esta plegada en un anticlinal amplio con notables discordancias intraformacionales que sugiere su depositación durante un periodo de deformación activa.

  Se encuentran puntualmente en el extremo centro-occidental de la cuenca.

- Estratos de Piedra Pómez (Mipp) (Mioceno inferior, ca. 18 Ma)
  Depósitos de bloques y ceniza ("block-and-ash flow deposits") semi a bien consolidados, esencialmente monomícticos, constituidos por bloques dacíticos, muchos con disyunción prismática, de hasta 50 cm de diámetro. Presentan una potencia máxima de 150 m, en capas de 5 a 20 m de espesor.
  Se encuentran puntualmente en la zona nor-occidental de la cuenca.

- Ignimbrita Laguna Verde (Pilv) (Plioceno inferior, ca. 4 - 3 Ma)
  Depósito de flujo piroclástico riolítico formado por, al menos, cuatro unidades de flujo con intercalaciones de al menos dos niveles de oleada piroclástica. Las unidades de flujo corresponden a tobas con proporciones variables de fragmentos juveniles pumíceos tamaño lapilli medio a bomba, de <25 cm de diámetro y fragmentos líticos de andesitas y dacitas de hasta 20 cm de diámetro, subredondeados a angulosos, inmersos en una matriz fina blanca a rosada ligera a fuertemente compactada. Las unidades de oleadas corresponden a tobas con laminación cruzada, dunas y lentes de distinta granulometría. Posiblemente asociada al colapso de la caldera Agua Amarga (al Norte, fuera de la cuenca).
  Se encuentra principalmente en la zona nor-occidental de la cuenca.

- Ignimbrita Tres Cruces (Qitc) (< 1 Ma)
  Depósito de flujo piroclástico de ceniza y pómez de dimensiones medianas a reducidas (ignimbrita de pequeño volumen) asociado al centro más austral del Macizo Tres Cruces.
  Se encuentra en la zona Sur de la cuenca.

Rocas intrusivas

- Monzodiorita cuarcífera de la Cuesta Los Colorados (Pzmd) (Pérmico)
  Cuerpo intrusivo de grano grueso y color verdoso, con abundantes restitas constituido por rocas holocristalinas de textura hipidiomórfica granular gruesa con cristales de plagioclasa, piroxeno, anfíbola, biotita y cuarzo. Intruye a la Fm. Pantanoso.
  Se encuentra puntualmente en el extremo centro-occidental de la cuenca.

- Granitoides del Pérmico-Triásico (PeTrg) (ca. 266-231 Ma)
  Grupo de cuerpos intrusivos que aflora en el sector suroccidental del área de estudio, en la
  Cordillera Claudio Gay. En sectores, intruyen a tobas riolíticas y riolitas de la Formaci6n Pantanoso y a rocas de la Formaci6n

Chinches. En el flanco oriental de la Cordillera Claudio Gay se disponen en contacto por falla inversa por sobre los Estratos de Claudio Gay, y en la quebrada Los Colorados se encuentran cubiertos en discordancia por lavas andesíticas de los Estratos de Claudio Gay. Se encuentran en la zona nor-occidental de la cuenca.
(a) Monzogranitos;

- Intrusivos hipabisales andesíticos (Mih) (ca. 23 - 19 Ma)
  Cuerpos subvolcánicos pequeños, de composición andesítica, con textura porfírica, ubicados en el sector austral de la Cordillera Claudio Gay y que intruyen a riolitas de la Formación Pantanoso. Probablemente están asociados a centros volcánicos del mismo periodo, pudiendo interpretarse como remanentes de conductos alimentadores.
  Se encuentran puntualmente en la zona nor-occidental de la cuenca.

- Intrusivos hipabisales dacíticos (Mmh) (ca. 14 Ma)
  Conjunto de cuerpos hipabisales a subvolcánicos, ubicados en el flanco oriental de la Cordillera
  Claudio Gay y en el núcleo del complejo volcánico Agua de la Falda-Cerro del Agua. Intruyen a riolitas de la Formación Pantanoso y lavas de los Estratos de Claudio Gay. Es muy común la presencia de zonas de intensa alteración hidrotermal, asociada tanto espacial como temporalmente a estos cuerpos.
  Se encuentran puntualmente en la zona nor-occidental de la cuenca.

Depósitos no consolidados

- Depósitos aluviales antiguos (MsPa) (Mioceno superior – Plioceno)
  Depósitos preferencialmente aluviales, y en menor medida coluviales, constituidos por grava, arena y limo, polimíctico, mal seleccionados, pobremente estratificados.
  Se encuentran principalmente en la zona centro de la cuenca.

- Depósitos aluviales (Pa) (Plioceno)
  Gravas aterrazadas, polimícticas, de hasta 8 m de espesor, que contienen fragmentos de la
  ignimbrita Laguna Verde, y que se disponen, generalmente, sobre las ignimbritas Juncalito y Laguna Verde. Se encuentran principalmente en la zona Norte de la cuenca.

- Depósitos aluviales (PlHa) (Pleistoceno – Holoceno)
  Gravas, arenas gruesas y limos, no consolidados asociados al drenaje activo esporádico, encauzados en las quebradas principales actuales.
  Se encuentran principalmente en el centro de la cuenca.

- Depósitos coluviales (PlHc) (Pleistoceno – Holoceno)
  Gravas mal seleccionadas restringidos a conos de deyección en quebradas y laderas de cerros.
  Se encuentran principalmente en la zona centro-occidental de la cuenca.

- Depósitos aluviales y coluviales (PlHac) (Pleistoceno – Holoceno)
  Depósitos aluviales y coluviales indiferenciados de limo, arena y gravas no consolidados, polimícticos a monomícticos, mal seleccionados y pobremente estratificados, que constituyen los cauces, conos de deyección de coluvios de poco transporte y relleno de valles y quebradas actuales.
  Se encuentran principalmente en las zonas Oeste y Sur de la cuenca.

- Depósitos de remoción en masa (PlHrm) (Pleistoceno – Holoceno)
  Depósitos de gravas y bloques polimícticos, generalmente no consolidados, los que habitualmente aún conservan estructuras tipo "hummocks" y drenajes cerrados, evidenciando los bloques colapsados que contienen. Están constituidos por bloques de diversos tamaños, muy fracturados, incluidos en una matriz de granulometría variable formada por la trituración mecánica de los bloques.

  Se encuentran principalmente en las zonas Norte y centro-oriental de la cuenca.

- Depósitos glaciares (PlHg) (Pleistoceno – Holoceno)
  Depósitos de gravas y bloques polimícticos constituido esencialmente por fragmentos de dacitas y andesitas de tamaño variable (< 1 m) y angularidad creciente con el tamaño, inmersos en una matriz de limo-arena muy rica en fragmentos piroclásticos pumíceos redondeados.

  Se encuentran puntualmente en la zona centro-oriental de la cuenca.

Conjuntos y complejos volcánicos

- Volcanes y complejos volcánicos del Mioceno (ca. 20-5 Ma)
  Estratovolcanes fuertemente erosionados y en parte colapsados, y complejos de domos, cuya producción es predominantemente dacítica. Se incluyen el Volcán Wheelwright y el Complejo Volcánico Cerros de Barrancas Blancas.

  Se encuentran en las zonas Norte, centro y este del mapa, principalmente.

- (Mv(a)) Lavas andesíticas y/a dacíticas
- (Msv(b))Depósitos de flujo piroclástico
- (Mv(b))Domos dacíticos - riodacíticos

- Volcanes y complejos volcánicos del Plioceno (ca. 5-2.5 Ma)
  Conjunto de volcanes mixtos bien preservados y edificios volcánicos de superficies erodadas cuya producción varia de dacítica a andesítica, y en menor proporción riolítica, desde el Plioceno inferior al superior. Comúnmente los edificios volcánicos del plioceno superior constituyen el basamento de los edificios cuaternarios, y los edificios del Plioceno inferior el basamento de los edificios del Plioceno superior. Incluido en esta unidad está el Vn. Rodrigo.

  Se encuentran en las zonas centro y este del mapa, principalmente.

  - (Plv(a)) Lavas andesíticas a dacíticas
  - (Pfp) Depósitos de flujo piroclástico
  - (Piv(c)) Cono adventicio y lava andesítico-basáltica asociada
  - (Piv(e)) Domos dacíticos
  - (Psv(d)) Depósitos piroclásticos de caída proximal
  - (Psv(c)) Derrubios

- Volcanes y complejos volcánicos del Pleistoceno-Holoceno (PlHv) (ca. 1,8 - < 1 Ma)
  Conjunto de volcanes, lavas, domos y depósitos piroclásticos de flujo y caída, que presentan morfologías muy bien preservadas como levees, canales centrales, lóbulos de avance, etc. Predominan los estratovolcanes compuestos y los complejos de domos y lavas-domo, básicamente con productos de composición principalmente dacítica, los que corresponden a los edificios volcánicos Falso Azufre,

San Francisco y Narnia, y algunos productos de los volcanes lncahuasi, Fraile y Cóndor, ubicados hacia el Sur, fuera de la cuenca. Se encuentran principalmente en la zona Sur de la cuenca.

(d) Depósitos de caída pumíceos

- Conjunto de Volcanes del Cuaternario (Qv)
  Complejos de estratovolcanes compuestos y mixtos superpuestos, domos y conos de escoria, asociados a depósitos piroclásticos que se encuentran en la zona Sur de la cuenca. Predominan macizos volcánicos formados por la superposición de conos de lava, que incluye al macizo Tres Cruces. Las coladas de estos macizos son cortas y de gran potencia, no asi las asociadas al volcán, que son extensas, de menor potencia y andesíticas. Predominan las dacitas de hornblenda y escasa biotita, porfídicas y andesitas silíceas de hornblenda y/o ortopiroxenoSe encuentran en la zona Sur del mapa, principalmente.

  (Qv) Macizos, conos y coladas de lava predominantemente dacíticas
  (c) Escoria y conos de escoria
  (e)Derrubios del flanco del Macizo Tres Cruces

Estructuras

En la zona de estudio se distinguen tres orientaciones preferentes para las estructuras:

- Rumbo aproximadamente NS, que corresponde a los ejes de los pliegues sinclinal y anticlinal, falla normal inferida, y fallas inferidas y contactos. Se encuentran en la zona Norte de la cuenca. Lo importante de este grupo es que la falla normal inferida pasa por los depósitos no consolidados PlHc, MsPa y PlHa del Norte de la cuenca.
- Fotolineamientos y falla normal de rumbo aproximadamente NNO-SSO. Ubicados al Sur y Norte de la cuenca respectivamente.
- Fotolineamientos de rumbo aproximadamente EO. Ubicados en la zona centro-oriental de la cuenca.

Otras estructuras presentes son los escarpes y bordes de cráteres y calderas distribuidos sobre unidades volcánicas.

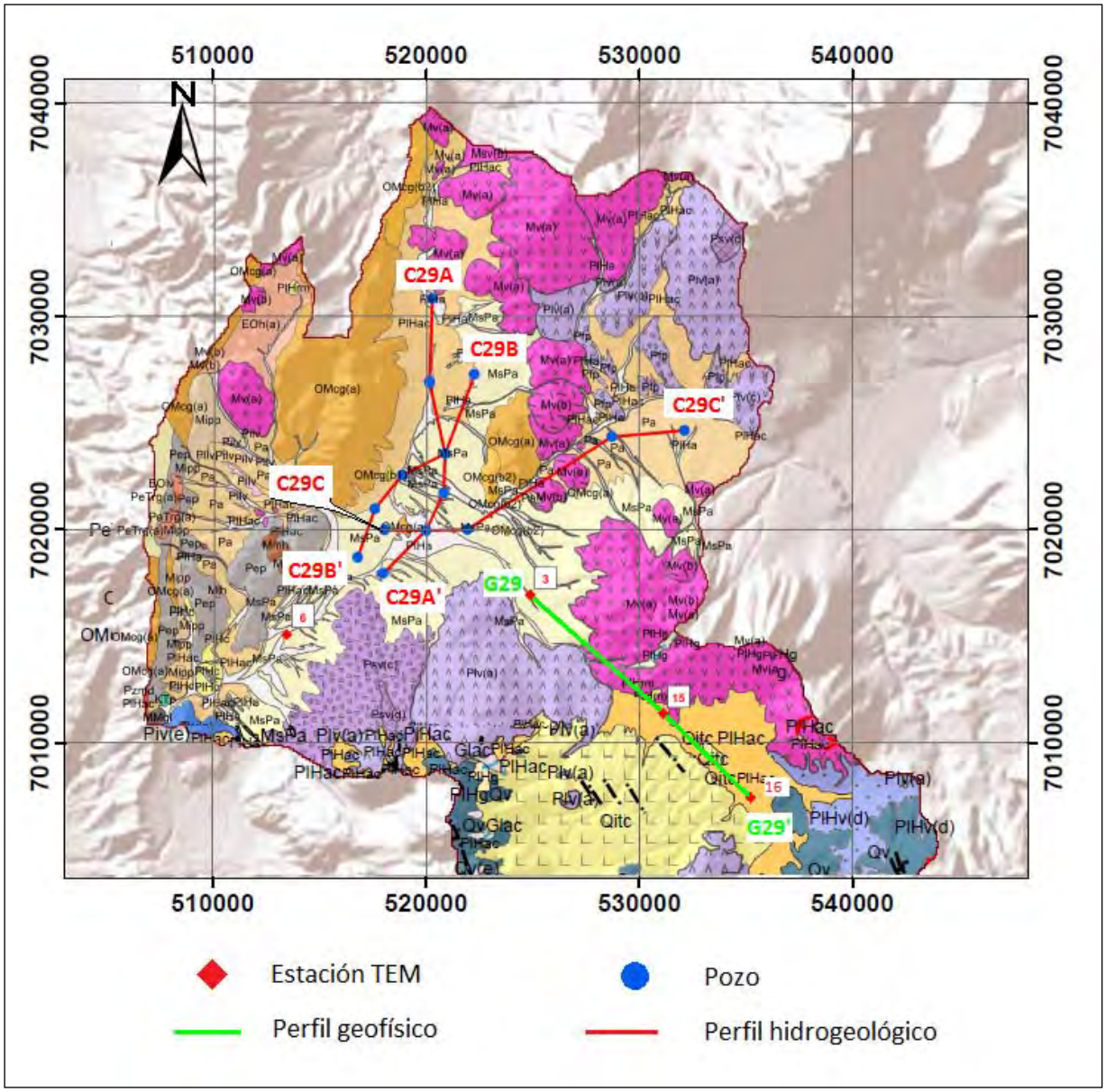
b) Perfiles Hidrogeológicos

De acuerdo a la información aportada por las descripciones estratigráficas de diversos pozos y al estudio geofísico de 4 estaciones TEM (Cuadro 10.1-6), se trazaron 4 perfiles en la cuenca Quebrada Nevados del Juncalito (cuenca Piedra Pómez), ubicados como se ilustra en la Figura 10.1-21.

CUADRO 10.1-6
COORDENADAS Y COTA DE POZOS Y ESTACIONES TEM EN LA CUENCA QUEBRADA NEVADOS DEL JUNCALITO

Perfil	Nombre Pozo	Coordenadas (Datum WGS84, huso 19S)		Cota (m s.n.m.)
		Norte (m)	Este (m)	
C29A-C29A'	PPB-9	7.030.845	520.276	4.407
	PPB-8	7.026.932	520.136	4.400
	PPB-3	7.023.584	520.886	4.409
	PPB-1	7.021.729	520.810	4.423
	PPB-23	7.019.979	519.978	4.426
	PPB-21	7.017.980	517.955	4.402
C29B-C29B'	PPB-10	7.027.259	522.240	4.424
	PPB-3	7.023.584	520.886	4.409
	PPB-6	7.022.574	518.860	4.402
	PPB-4	7.020.974	517.570	4.407
	PPB-5	7.018.725	516.756	4.400
C29C-C29C'	PPB-19 A	7.020.000	518.016	4.407
	PPB-23	7.019.979	519.978	4.426
	PPB-24	7.020.016	521.924	4.459
	PPB-12	7.024.379	528.719	4.522
	PPB-18	7.024.678	532.133	4.558
G29-G29’	3	7.016.930	524.872	4.586
	15	7.025.746	520.247	4.405
	16	7.023.726	530.296	4.565
	6	7.015.176	513.427	4.374

FIGURA 10.1-21
UBICACIÓN PERFILES, POZOS Y ESTACIONES TEM



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

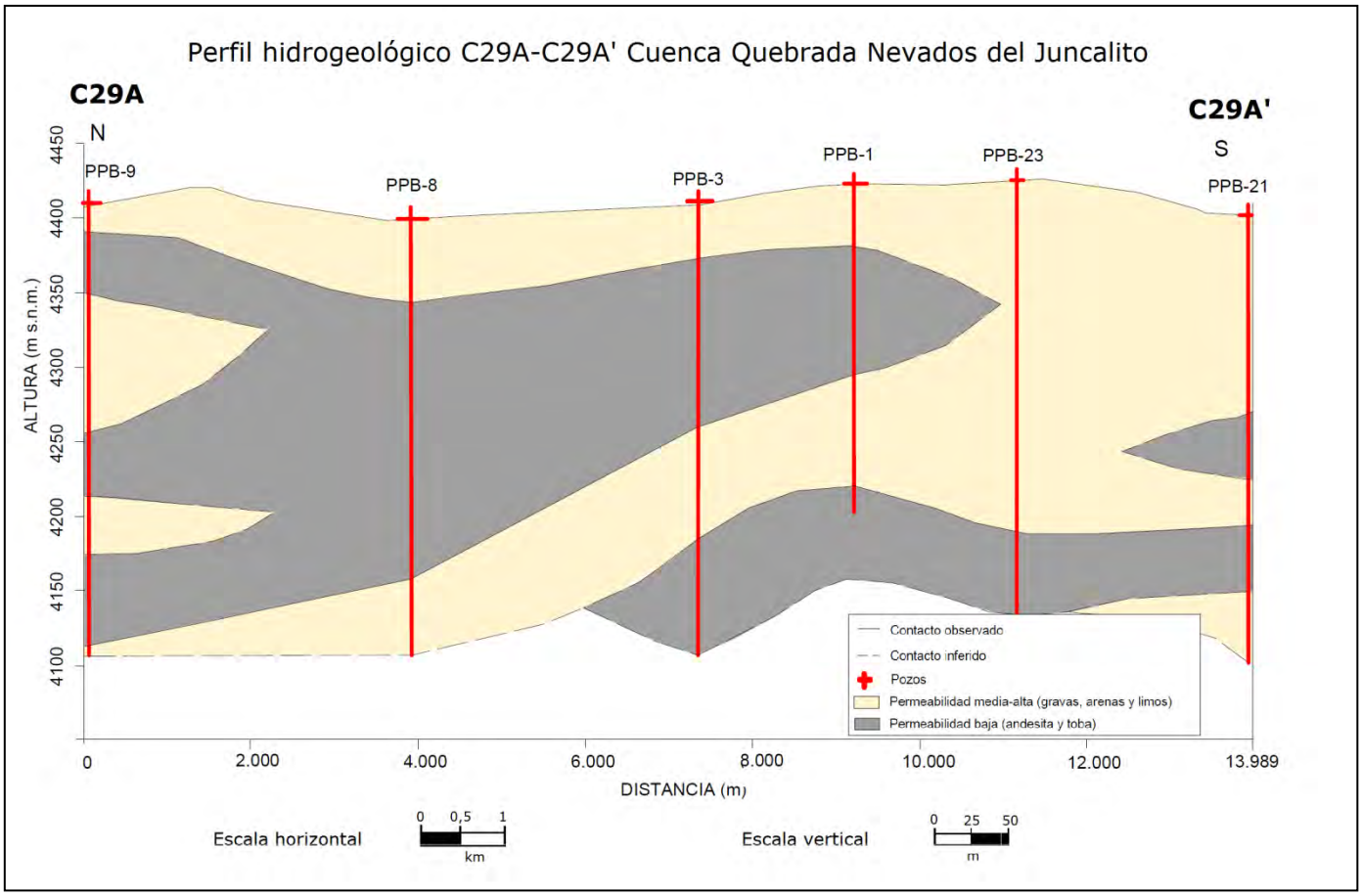
A continuación, se describen, detalladamente, cada uno de los perfiles.

- **Perfil hidrogeológico C29A-C29A' Cuenca Quebrada Nevados del Juncalito**

El perfil hidrogeológico que se describe posee una orientación norte-Sur y una longitud de casi 14 km. En él se identifican 2 unidades definidas en base a su permeabilidad (Figura 10.1-22).

La primera de ellas corresponde a gravas, arenas y limos de permeabilidad media-alta, donde se encontraría el acuífero. A profundidad (40 m aproximadamente) pierde su continuidad, ya que se ve interdigitada por la segunda unidad correspondiente a andesitas y tobas de permeabilidad baja.

FIGURA 10.1-22
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C29A-C29A´CUENCA QUEBRADA NEVADOS DEL JUNCALITO



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

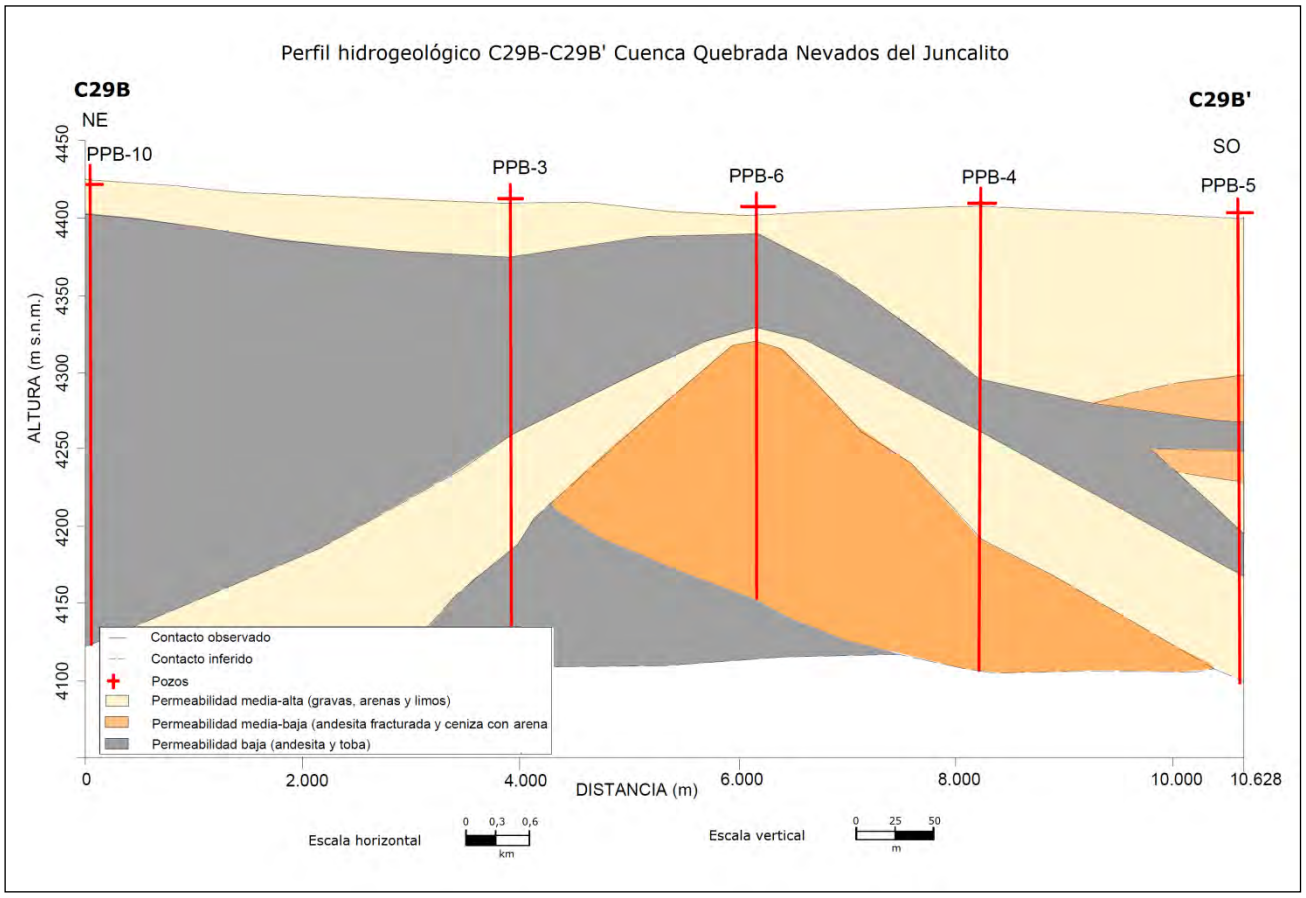
- **Perfil hidrogeológico C29B-C29B' Cuenca Quebrada Nevados del Juncalito**

El presente perfil se estructuró en base a la información estratigráfica de 5 pozos (Cuadro 10.1-6). Posee una orientación noreste-suroeste y una longitud de 10.628 m.

En él se identifican 3 unidades hidrogeológicas (Ver Figura 10.1-23). La primera de ellas está compuesta por gravas, arenas y limos, de permeabilidad media-alta, donde se encontraría el acuífero. Éste también se reconocería en la segunda unidad de permeabilidad media-baja correspondiente a andesita fracturada y a ceniza con arena.

La tercera unidad, de permeabilidad baja y compuesta de andesitas y tobas, se presenta interdigitando a las otras unidades.

FIGURA 10.1-23
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C29B-C29B´CUENCA QUEBRADA NEVADOS DEL JUNCALITO



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil hidrogeológico C29C-C29C' Cuenca Quebrada Nevados del Juncalito**

Este perfil hidrogeológico se diseñó a partir de la información disponible de 5 pozos (Cuadro 10.1-5). Posee una orientación oeste-este y una longitud mayor a 15 km (Figura 10.1-24).

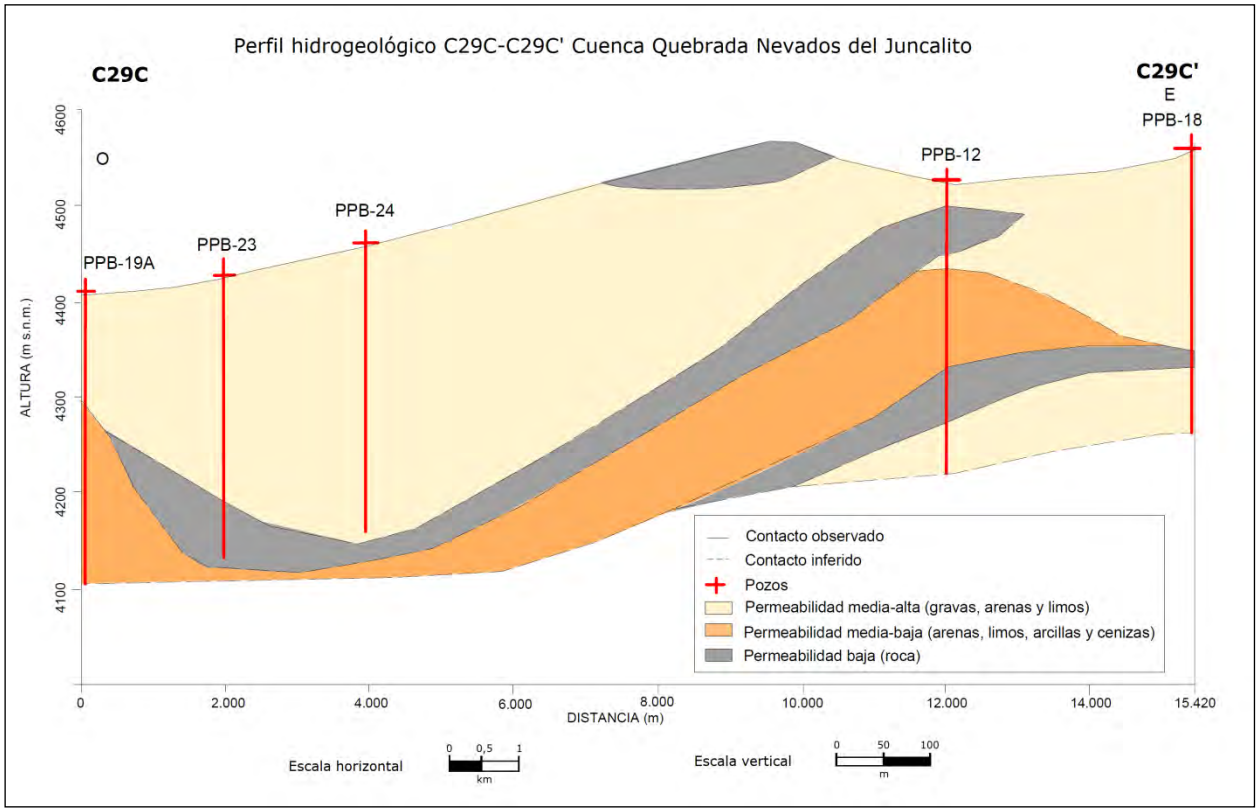
Se identifican las mismas 3 unidades que en el perfil anterior, pero en éste están compuestas de otro tipo de material.

La primera de ellas, de permeabilidad media-alta, corresponde a gravas, arenas y limos, y se identifica en la parte superior del perfil donde presenta una potencia máxima de 150 m aproximadamente.

La segunda, de permeabilidad media-baja, está compuesta por arenas, limos, arcillas y cenizas. Se encuentra interdigitada por la tercera unidad de permeabilidad baja correspondiente a un medio rocoso.

El acuífero se emplaza en la primera y en la segunda unidad, por lo que tendría una potencia de al menos 150 m y no se reconocería su base.

FIGURA 10.1-24
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C29C-C29C'
CUENCA QUEBRADA NEVADOS DEL JUNCALITO



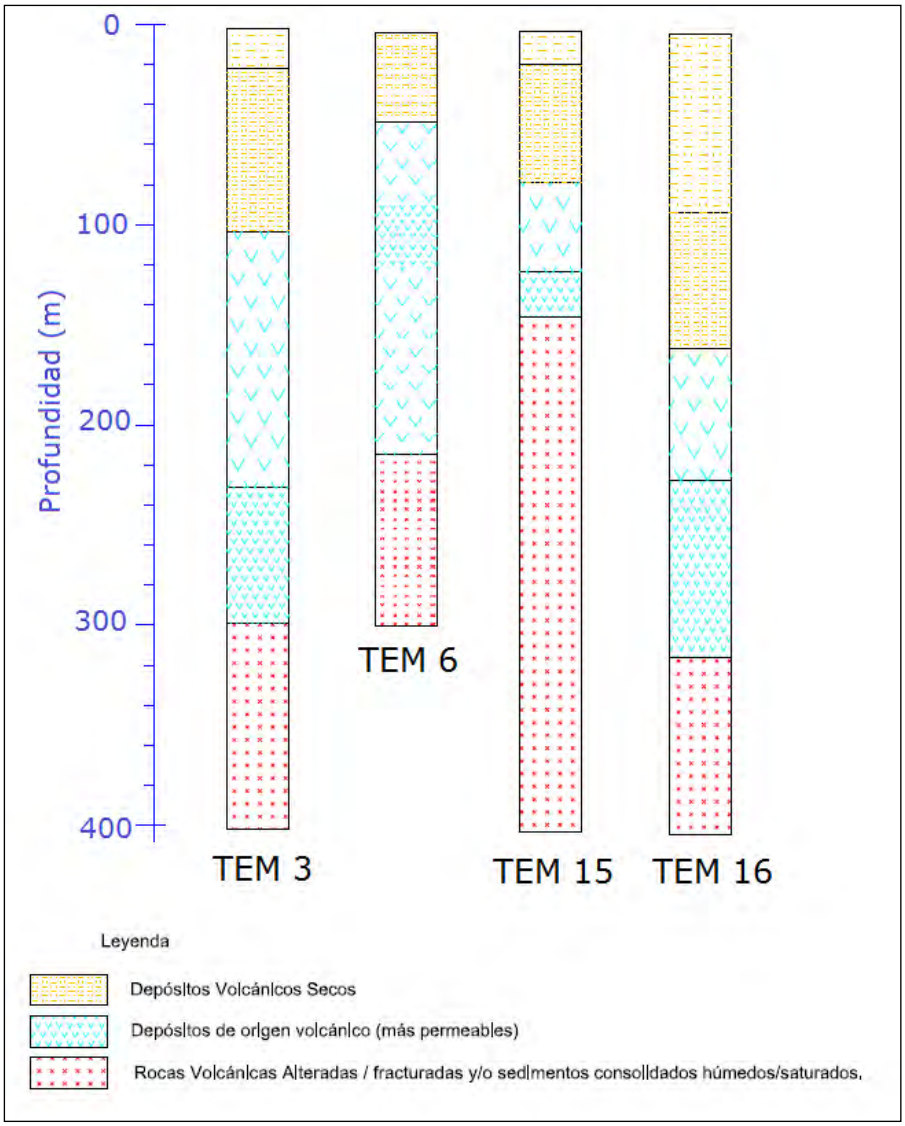
Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil geofísico G29-G29' Cuenca Quebrada Nevados del Juncalito**

A partir del estudio geofísico, se estructuraron 4 columnas estratigráficas como se ilustra en la Figura 10.1-25. En ellas se identifica una secuencia de 3 unidades -depósitos volcánicos secos;

depósitos de origen volcánico; y rocas volcánicas alteradas/fracturadas y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados- las cuales poseen permeabilidad media-baja.

FIGURA 10.1-25
COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS LEVANTADAS A PARTIR DEL ESTUDIO GEOFÍSICO.



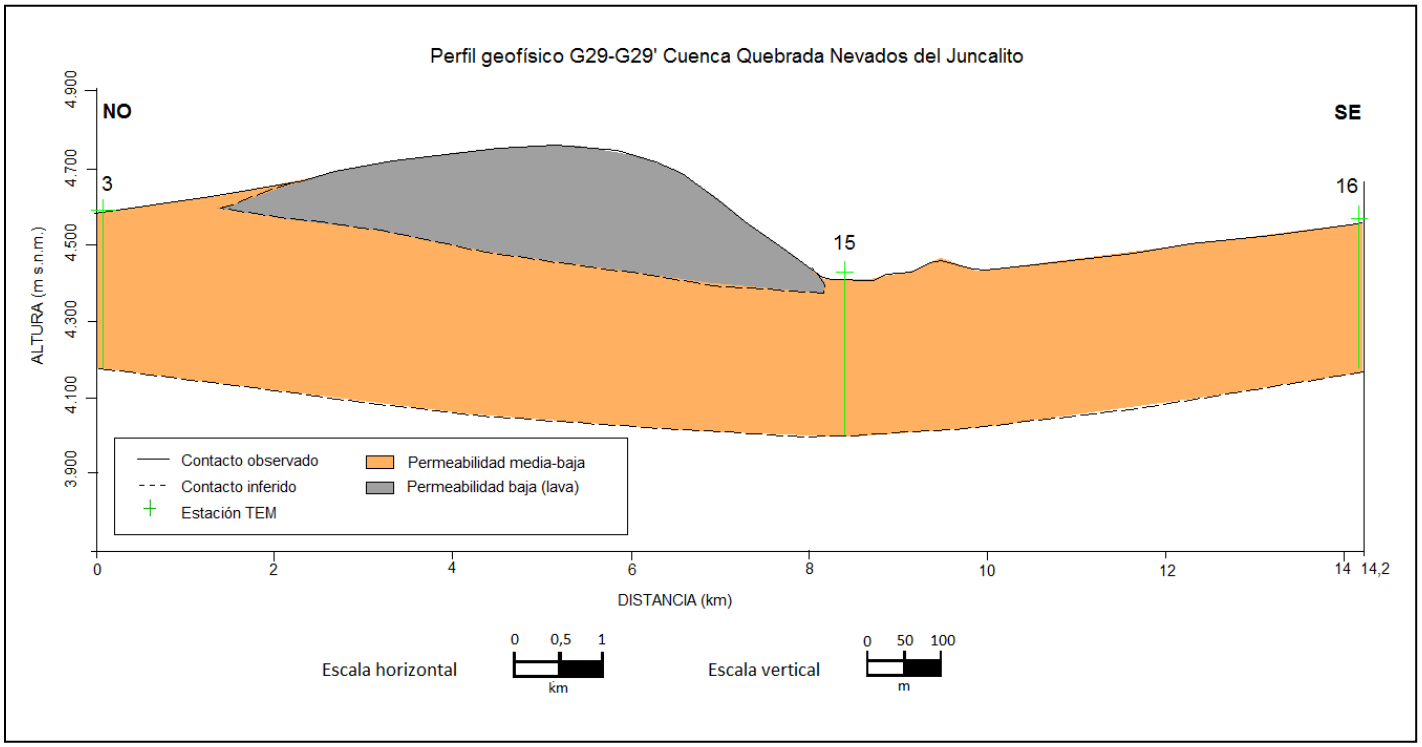
Fuente: Geodatos 2013

Con esta información, más la aportada por la geología de superficie, se trazó el Perfil geofísico G29-G29’ (Figura 10.1-26). Éste posee una orientación noroeste-sureste y una longitud de 14,2 km.

En él se identifica un acuífero en la unidad de permeabilidad media baja, el cual posee una potencia de al menos 400 m. Sobre dicha unidad, en el sector entre las estaciones TEM 3 y 15, se observan lavas miocénicas de permeabilidad baja, superficiales.

No se identificó una roca basal de muy baja permeabilidad, por lo que se desconoce la base del acuífero.

FIGURA 10.1-26
PERFIL GEOFÍSICO G29-G29’
CUENCA QUEBRADA NEVADOS DEL JUNCALITO



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

10.1.8. Cuenca N° 14. Laguna Verde

a) Marco Geológico

Conforme a los antecedentes recabados y analizados, se estructuró el mapa geológico que a continuación se adjunta. En éste, se presentan los tipos litológicos existentes en la cuenca de acuerdo a sus características petrográficas y cronológicas.

Rocas Estratificadas

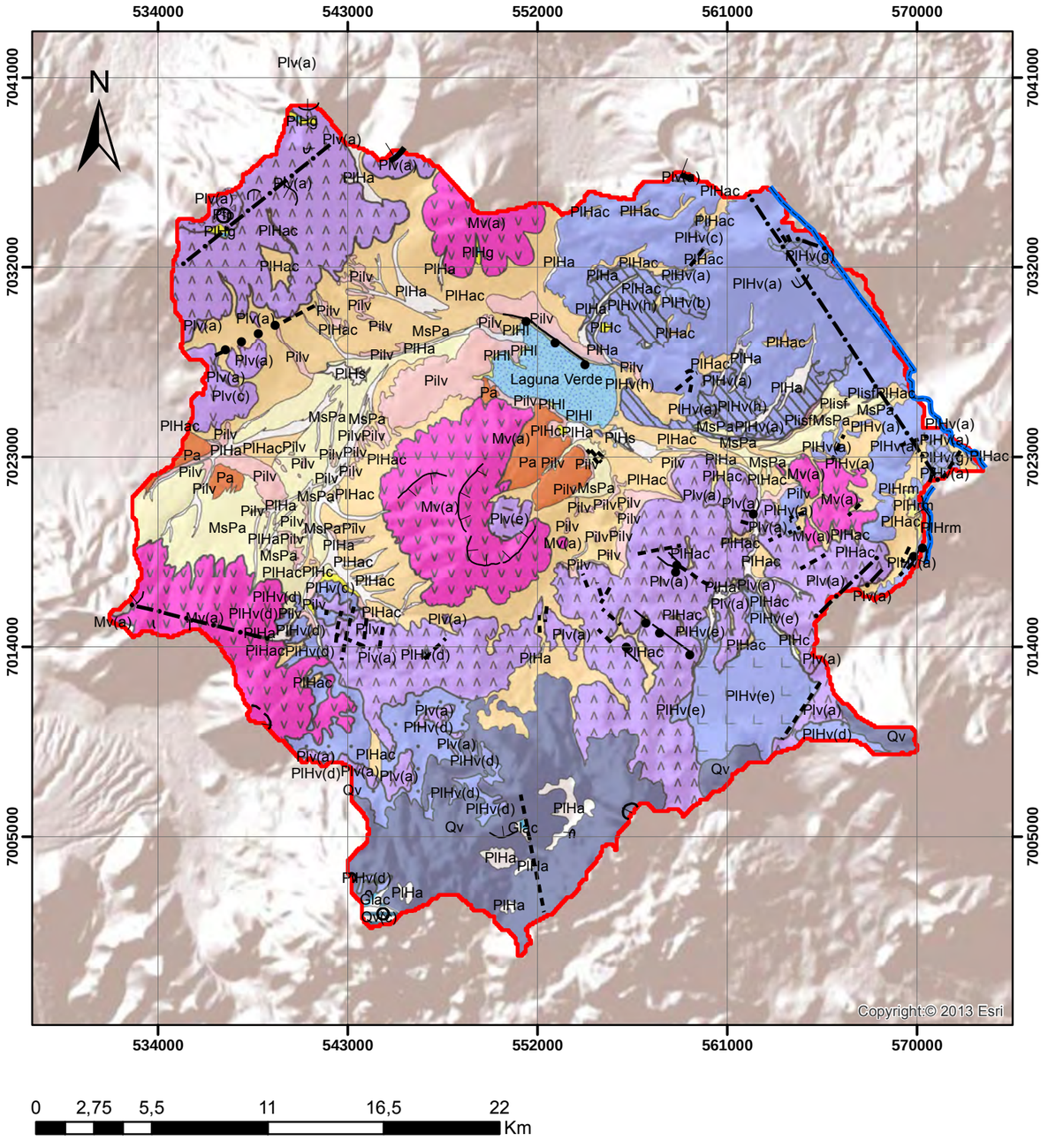
- Ignimbrita Laguna Verde (Pilv) (Plioceno inferior, ca. 4 - 3 Ma)
  Depósito de flujo piroclástico riolítico formado por, al menos, cuatro unidades de flujo con intercalaciones de al menos dos niveles de oleada piroclástica. Las unidades de flujo corresponden a tobas con proporciones variables de fragmentos juveniles pumíceos tamaño lapilli medio a bomba (5-40% vol.), de <25 cm de diámetro y fragmentos líticos de andesitas y dacitas (<15% vol.) de hasta 20 cm de diámetro, subredondeados a angulosos, inmersos en una matriz fina blanca a rosada ligera a fuertemente compactada. Las unidades de oleadas corresponden a tobas con laminación cruzada, dunas y lentes de distinta granulometría. Posiblemente asociada al colapso de la caldera Agua Amarga (al Norte, fuera de la cuenca). Se encuentran en el sector oeste de la cuenca.

- Ignimbrita San Francisco (Plisf) (Pleistoceno inferior, ca. 2 Ma)
  Toba de flujo riodacítica formado por una sola unidad de flujo maciza, sin rasgos de soldamiento ni disyunción columnar, constituida por fragmentos pumíceos tamaño lapilli grueso a pequeñas bombas, inmersos en una matriz de ceniza fina, compactada, color blanco. Abarcan una pequeña franja en el sector este de la cuenca.

Depósitos no consolidados

- Depósitos aluviales antiguos (MsPa) (Mioceno superior – Plioceno)
  Depósitos preferencialmente aluviales, y en menor medida coluviales, constituidos por grava, arena y limo, polimíctico, mal seleccionados, pobremente estratificados. Se encuentran en el centro de la cuenca.

Mapa Geológico Cuenca N°14: Laguna Verde



Litologías

Cuaternario

- Depósitos aluviales (PlHa)
- Depósitos coluviales (PlHc)
- Depósitos aluviales y coluviales (PlHac)
- Depósitos glaciares (PlHg)
- Depósitos lacustres (PlHl)
- Depósitos de remoción en masa (PlHrm)
- Ignimbrita San Francisco (Plisf)
- Depósitos salinos (PlHs)

Volcanes y complejos volcánicos del Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)

- Lavas dacíticas (PlHv(a))
- Domos dacíticos (PlHv(b))
- Depósitos de bloque y ceniza (PlHv(c))
- Depósitos de caída pumíceos (PlHv(d))
- Depósitos de flujo piroclástico (PlHv(e))
- Depósitos de caída proximal (PlHv(g))
- Depósitos laháricos del volcán Falso Azufre (PlHv(h))
- Macizos, conos y coladas de lava predominantemente dacíticas (Qv)
- Derrubios del flanco del Macizo Tres Cruces (Qv(c))

Plioceno

- Depósitos aluviales (Pa)
- Ignimbrita Laguna Verde (Pilv)

Volcanes y complejos volcánicos del Plioceno

- Lavas andesíticas a dacíticas (Plv(a))
- Depósitos de flujo piroclástico (Plv(b))
- Cono adventicio y lava andesítico-basáltica asociada (Piv(c))
- Domos dacíticos (Piv(e))

Mioceno

- Depósitos aluviales antiguos (MsPa)
- Lavas andesíticas a dacíticas (Mv(a))

Otros

- Glaciar (Glac)
- Laguna Verde
- Arroyo de agua dulce

Simbología

- Margen topográfico de caldera observada
- Escarpe
- Cráter
- Falla cubierta
- Falla observada/inferida
- Falla normal observada/inferida
- Límite internacional
- Fotolineamiento

Referencias
Carta Geología de las áreas Salar de Wheelwright y Paso San Francisco, escala 1:100.000; Mapa Geológico de las Hoja Nevados Ojos del Salado, escala 1:100.000.

Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 19S, WGS1984

Figura 1. Geología cuenca N°14 Laguna Verde

- Depósitos aluviales (Pa) (Plioceno)
  Gravas aterrazadas, polimícticas, de hasta 8 m de espesor, que contienen fragmentos de la ignimbrita Laguna Verde, y que se disponen, generalmente, sobre las ignimbritas Juncalito y Laguna Verde. Se encuentran principalemente en el centro de la cuenca.

- Depósitos aluviales (PlHa) (Pleistoceno – Holoceno)
  Gravas, arenas gruesas y limos, no consolidados asociados al drenaje activo esporádico, encauzados en las quebradas principales actuales. Se encuentran en el sector centro de la cuenca.

- Depósitos coluviales (PlHc) (Pleistoceno – Holoceno)
  Gravas mal seleccionadas restringidos a conos de deyección en quebradas y laderas de cerros. Se encuentran en el sector centro de la cuenca.

- Depósitos aluviales y coluviales (PlHac) (Pleistoceno – Holoceno)
  Depósitos aluviales y coluviales indiferenciados de limo, arena y gravas no consolidados, polimícticos a monomícticos, mal seleccionados y pobremente estratificados, que constituyen los cauces, conos de deyección de coluvios de poco transporte y relleno de valles y quebradas actuales. Se concentran principalmente en el sector Norte de la cuenca.

- Depósitos glaciares (PlHg) (Pleistoceno – Holoceno)
  Depósitos de gravas y bloques polimícticos constituido esencialmente por fragmentos de dacitas y andesitas de tamaño variable (< 1 m) y angularidad creciente con el tamaño, inmersos en una matriz de limo-arena muy rica en fragmentos piroclásticos pumíceos redondeados. Se encuentran en el sector noroeste de la cuenca.

- Depósitos lacustres (PlHl) (Pleistoceno – Holoceno)
  Areniscas, limolitas y conglomerados finos, moderadamente consolidados a consolidados, que se disponen horizontalmente en el borde y en los alrededores de la Laguna Verde. Los fragmentos están constituidos por andesitas, dacitas y fragmentos piroclásticos pumíceos muy redondeados y bien seleccionados, formando capas bien laminadas con espesores entre 3 y 15 cm, algunas con laminación cruzada y lentes de arena fina. Se encuentran en el sector centro-norte de la cuenca.

- Depósitos de remoción en masa (PlHrm) (Pleistoceno – Holoceno)
  Depósitos de gravas y bloques polimícticos, generalmente no consolidados, los que habitualmente aún conservan estructuras tipo "hummocks" y drenajes cerrados, evidenciando los bloques colapsados que contienen. Están constituidos por bloques de diversos tamaños, muy fracturados, incluidos en una matriz de granulometría variable formada por la trituración mecánica de los bloques. Se ubican principalmente en el extremo este de la cuenca.

- Depósitos salinos (PlHs) (Pleistoceno – Holoceno)
  Depósitos de sales constituidos esencialmente por cloruros y, en menor proporción, por sulfatos y boratos. Forman costras salinas fácilmente disgregables de espesor inferior a 30 cm. Se encuentran en el centro de la cuenca.

Conjuntos y complejos volcánicos

- Lavas andesíticas a dacíticas (Mv(a)) (Mioceno)
  Depósitos de lava asociados a los estratovolcanes miocenos fuertemente erosionados y en parte colapsados cuya producción es predominantemente dacítica. Dentro de la cuenca, son las lavas asociadas a los volcanes Laguna Verde, Mulas Muertas y Complejo Volcánico Barrancas Blancas. Se encuentran en las zonas Norte y centro de la cuenca.

- Volcanes y complejos volcánicos del Plioceno (ca. 5-2.5 Ma)
  Conjunto de volcanes mixtos bien preservados y edificios volcánicos de superficies erodadas cuya producción varia de dacítica a andesítica, y en menor proporción riolítica, desde el Plioceno inferior al superior. Comúnmente los edificios volcánicos del plioceno superior constituyen el basamento de los edificios cuaternarios, y los edificios del Plioceno inferior el basamento de los edificios del Plioceno superior. Incluido en esta unidad está el Vn. Rodrigo. Se encuentran en las zonas Norte y centro-sur este del mapa, principalmente.

  Lavas andesíticas a dacíticas (Plv(a))
  Depósitos de flujo piroclástico (Plv(b))
  Cono adventicio y lava andesítico-basáltica asociada (Piv(c))
  Domos dacíticos (Piv(e))

- Volcanes y complejos volcanicos del Pleistoceno-Holoceno (PlHv) (ca. 1,8 - < 1 M.a.)

  Conjunto de volcanes, lavas, domos y depósitos piroclásticos de flujo y caída, que presentan morfologías muy bien preservadas como levees, canales centrales, lóbulos de avance, etc. Predominan los estratovolcanes compuestos y los complejos de domos y lavas-domo, básicamente con productos de composición principalmente dacítica, los que corresponden a los edificios volcánicos Falso Azufre, San Francisco y Narnia, y algunos productos de los volcanes Incahuasi, Fraile y Condor, ubicados hacia el Sur, fuera del área de estudio. Se encuentran mayoritariamente en el sector este y en el sector Sur de la cuenca.

  (a) Lavas dacíticas
  (b) Domos dacíticos
  (c) Depósitos de bloques y ceniza
  (d) Depósitos de caída pumíceos
  (e) Depósitos de flujos piroclásticos
  (f) Depósitos de avalancha volcánica
  (g) Depósitos de caída proximal
  (h) Depósitos laháricos del volcán Falso Azufre

- Conjunto de Volcanes del Cuaternario (Qv)

  Complejos de estratovolcanes compuestos y mixtos superpuestos, domos y conos de escoria, asociados a depósitos piroclásticos que se encuentran en la zona Sur de la cuenca. Predominan macizos volcánicos formados por la superposición de conos de lava, que incluye al macizo Tres Cruces. Las coladas de estos macizos son cortas y de gran potencia, no así las asociadas al volcán, que son extensas , de menor potencia y andesíticas. Predominan las dacitas de hornblenda y escasa biotita, porfídicas y andesitas silíceas de hornblenda y/o ortopiroxeno. Los depósitos de escoria están asociados a los cráteres activos del macizo Ojos del Salado (andesitas silíceas a dacitas) y a pequeños conos de escoria monogenéticos basálticos que afloran en territorio argentino, algunos parásitos del Vn. Incahuasi. Se encuentran en la zona Sur del mapa, principalmente.

  (Qv) Macizos, conos y coladas de lava predominantemente dacíticas
  (c) Escoria y conos de escoria

Estructuras

En la zona de estudio se distinguen cuatro orientaciones preferentes para las estructuras:

- Fotolineamientos y fallas normales de orientación aproximadamente NE-SO, que afectan principalmente a las unidades volcánicas, y en menor medida a los depósitos no consolidados PlHac del centro y este de la cuenca, y los depósitos MsPa aluviales antiguos del centro.
- Fotolineamientos, fallas inferidas y fallas cubiertas de orientación aproximadamente SO-NE, que afectan principalmente a las unidades volcánicas y muy en menor medida a los depósitos no consolidados glaciares PlHg del noroeste de la cuenca y los depósitos aluviales y coluviales PlHac del sector oriental de la misma.
- Fallas de orientación aproximadamente NS que afectan principalmente a las unidades volcánicas y muy en menor medida a los depósitos aluviales y coluviales PlHac del centro de la cuenca.
- Fotolineamiento y fallas de orientación aproximada EO que afectan a las unidades volcánicas, no observándose que afecten a los depósitos no consolidados.

Otras estructuras presentes son los escarpes y bordes de cráteres y calderas distribuidos sobre unidades volcánicas.

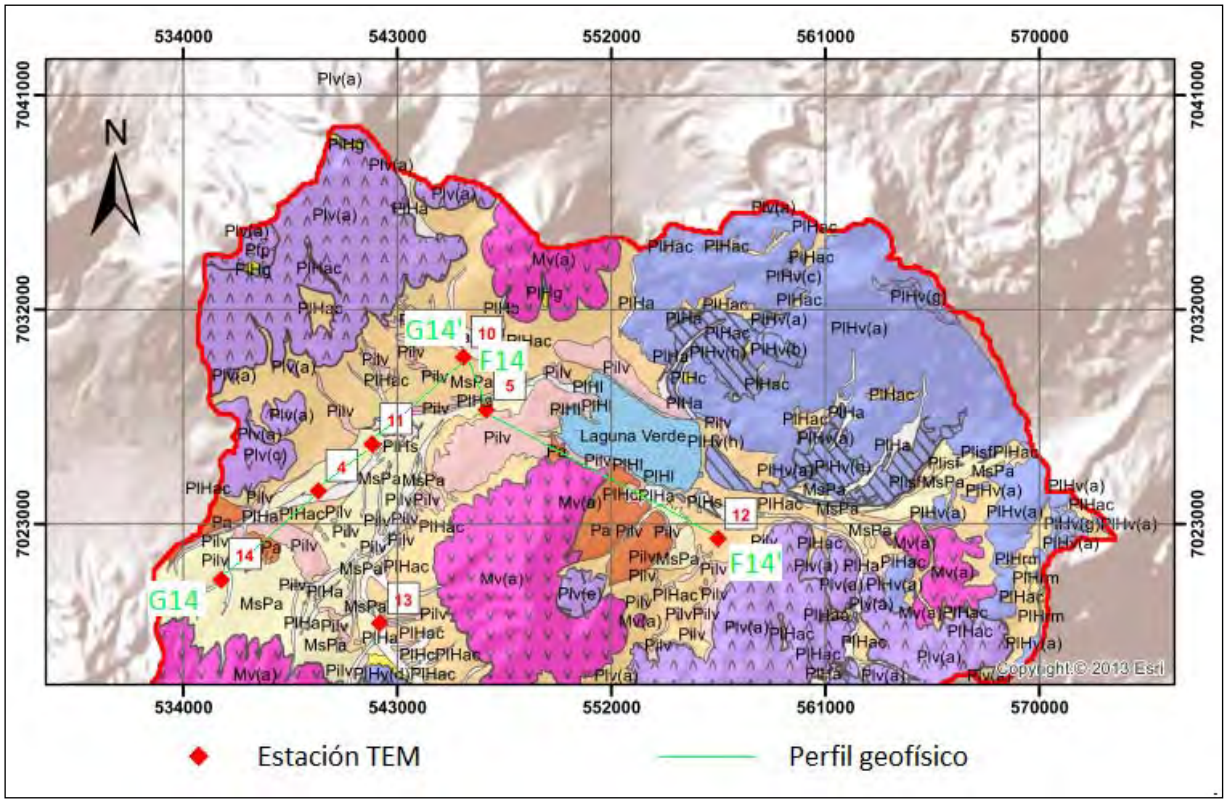
b) Perfiles Hidrogeológicos

En esta cuenca no se cuenta con la información necesaria poder trazar perfiles hidrogeológicos, pero existe un estudio geofísico llevado a cabo por Geodatos, donde se cuenta con 7 estaciones de tipo TEM (Cuadro 10.1-7). Con ellas se trazó el Perfil geofísico G14-G14’ Cuenca Laguna Verde y Perfil geofísico F14-F14’ Cuenca Laguna Verde, ubicados como se ilustra en la Figura 10.1.27.

CUADRO 10.1-7
COORDENADAS Y COTA DE ESTACIONES TEM EN CUENCA LAGUNA VERDE

Nombre	Coordenadas (Datum WGS84, huso 19S)		Cota (m s.n.m.)
	Norte (m)	Este (m)	
4	7.024.395	539.669	4.456
5	7.027.813	546.729	4.375
10	7.030.000	545.768	4.415
11	7.026.349	541.940	4.414
12	7.022.380	556.450	4.383
13	7.018.819	542.254	4.539
14	7.020.805	535.753	4.627

FIGURA 10.1-27
UBICACIÓN PERFILES Y ESTACIONES TEM



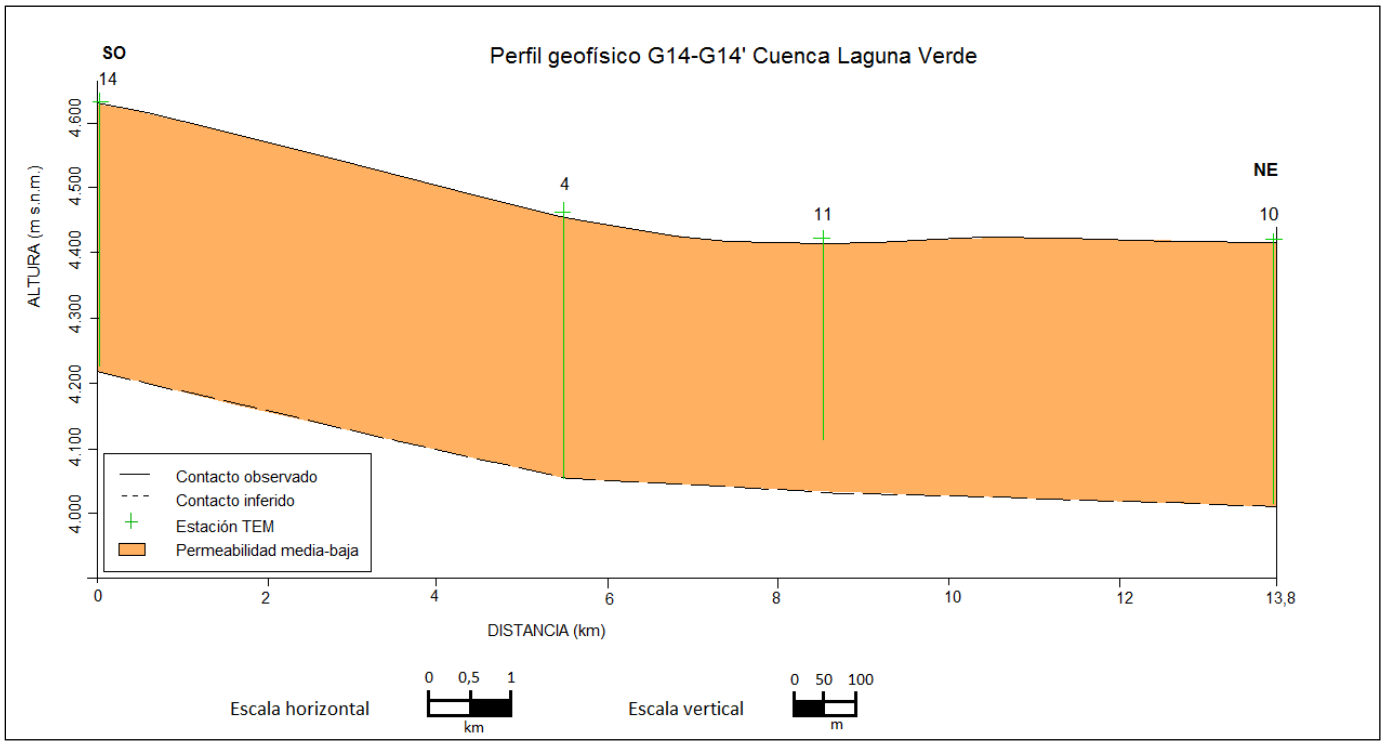
Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil geofísico G14-G14' Cuenca Laguna Verde**

En la Figura 10.1-28 se muestran el Perfil geofísico G14-G14' Cuenca Laguna Verde, estructurado en base a 4 columnas estratigráficas, las cuales fueron levantadas a partir de las estaciones TEM 14, 4, 11 y 10 (Figura 10.1-30). Éste posee una orientación suroeste-noreste y una longitud de 13,8 km.

En él se identifica un acuífero emplazado en la unidad de permeabilidad media-baja, el cual tiene una potencia de al menos 300 m. No se detectó la unidad de permeabilidad baja, por lo que no se conoce su base.

FIGURA 10.1-28
PERFIL GEOFÍSICO G14-G14' CUENCA LAGUNA VERDE



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil geofísico F14-F14' Cuenca Laguna Verde**

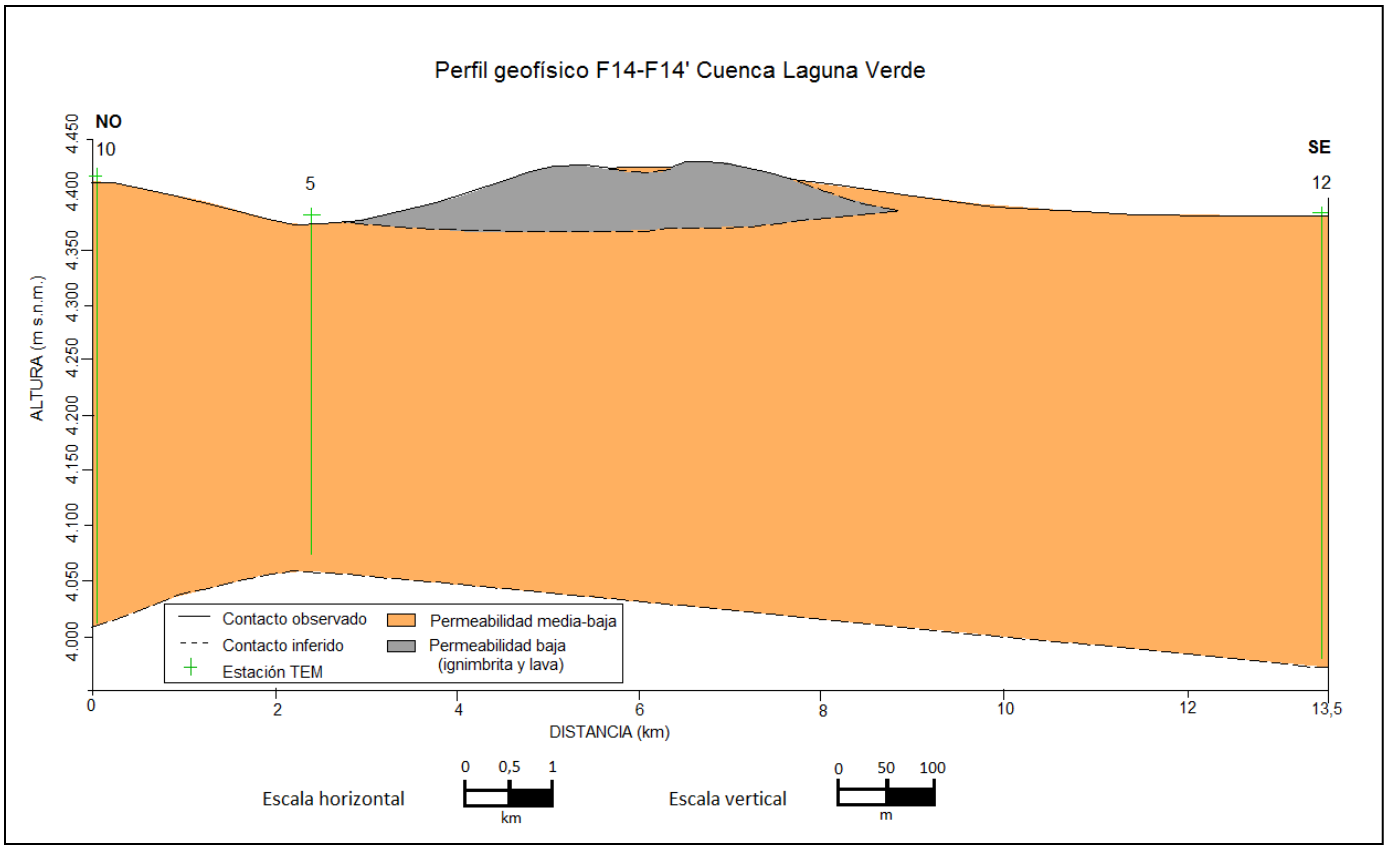
En base a la información aportada por las estaciones TEM 10, 5 y 12, se estructuró el perfil geofísico que se adjunta a continuación (Figura 10.1-

29). Éste se ubica al noreste de la cuenca en el sector de la laguna. Posee una orientación noroeste-sureste y una longitud de casi 14 km.

En él se reconoce una unidad de permeabilidad media-baja, donde se emplazaría el acuífero, la cual posee una potencia de al menos 300 m. Sobre ella, en el sector céntrico del perfil, se identifica una unidad de baja permeabilidad compuesta por ignimbritas y lavas del Mioceno, las cuales estarían sólo en superficie.

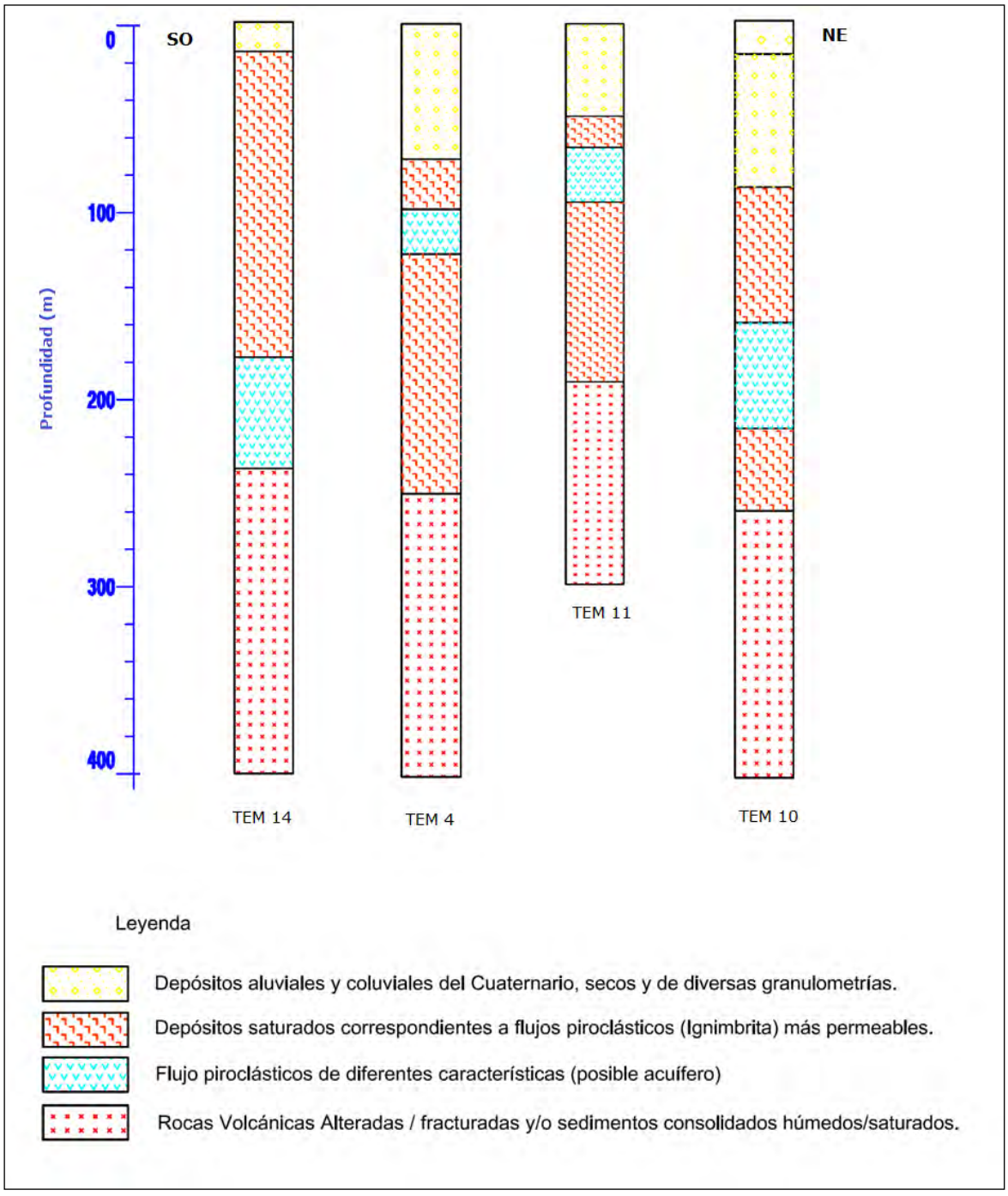
Al igual que en el perfil anterior, no se reconoce un medio rocoso basal de baja permeabilidad, por lo que no se tendría información sobre la profundidad de la base del acuífero.

FIGURA 10.1-29
PERFIL GEOFÍSICO F14-F14' CUENCA LAGUNA VERDE



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

FIGURA 10.1-30
COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS LEVANTADAS A PARTIR DE LAS ESTACIONES TEM 14, 4, 11 Y 10



Fuente: Geodatos 2013

10.1.9. Cuenca N° 1. Laguna del Negro Francisco

a) Marco Geológico

Conforme a los antecedentes recabados y analizados, se estructuró el mapa geológico que se adjunta. En éste se presentan los tipos litológicos existentes en la cuenca de acuerdo a sus características petrográficas y cronológicas.

Rocas Estratificadas

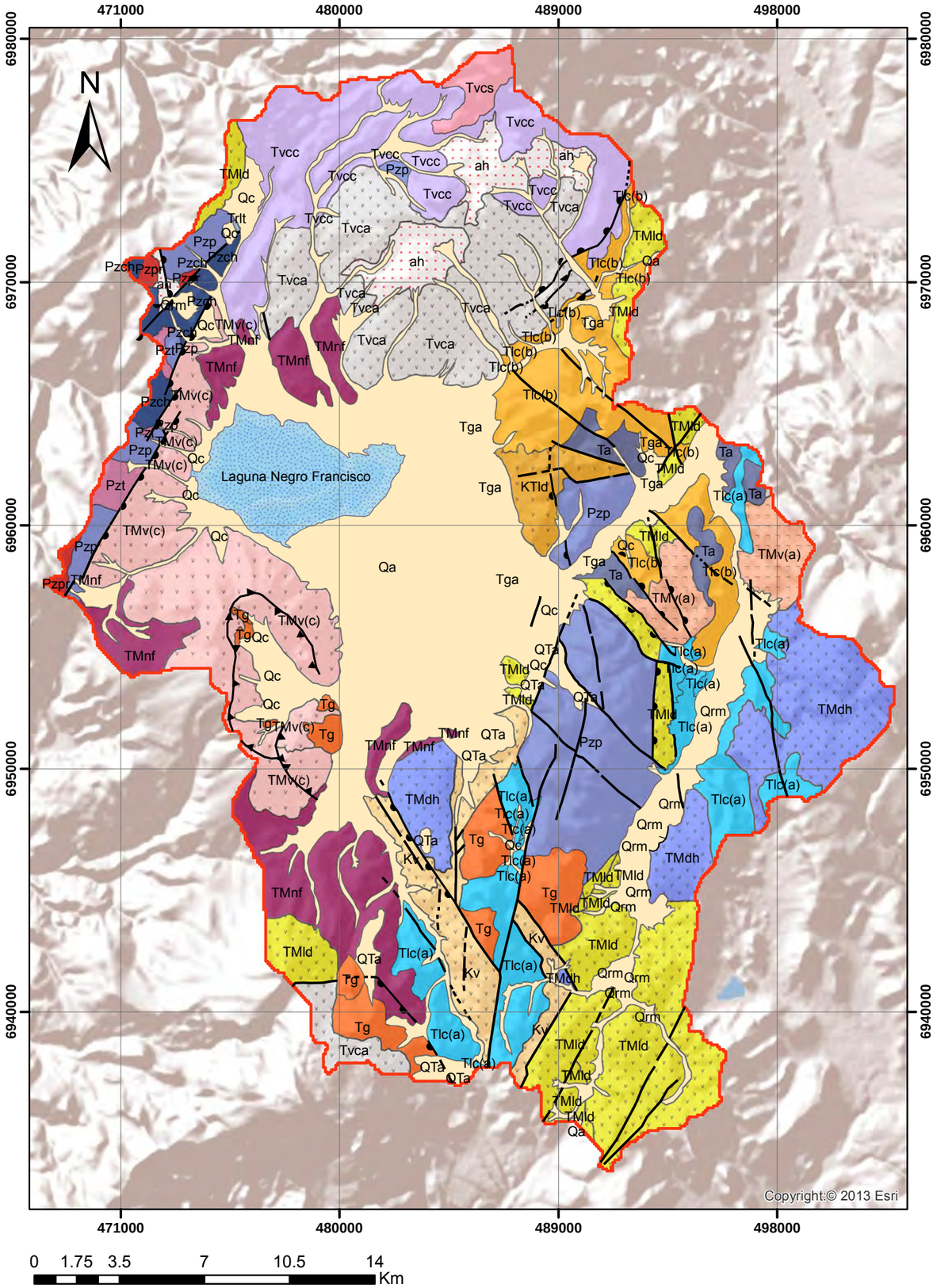
- Formación Pantanoso (Pzp) (Paleozoico superior)
  Secuencia volcánica de aspecto masivo a débilmente estratificada, compuesta por más de 300 m de lavas y domos riolíticos, flujos piroclásticos ácidos e intercalaciones de areniscas, conglomerados y brechas volcanoclásticas. Las lavas tienen texturas porfíricas, mientras que los flujos piroclásticos incluyen tobas finas y tobas líticas y pumíceas moderada a fuertemente soldadas. Los depósitos volcanoclásticos ocurren como cuerpos lenticulares entre los flujos y lavas. Se encuentra en el extremo norponiente de la cuenca y al oriente de la misma, relacionada a fallas.

- Formación Chinches (Pzch) (Paleozoico superior)
  Secuencia sedimentaria clástica de más de 2500 m de espesor caracterizada por una alternancia de lutitas y areniscas con intercalaciones de calizas y bancos conglomerádicos principalmente hacia el techo. La secuencia correspondería a depósitos de relleno de una cuenca lacustre profunda con una gran subsidencia, posiblemente tectónica, que se habría colmatado pasando gradualmente de ambientes poco profundos hasta costeros. Se encuentra al norponiente de la cuenca, relacionada a fallas.

- Formación La Ternera (Trlt) (Triásico)
  Secuencia volcánica compuesta por hasta 1700 m de andesitas, andesitas basálticas, basaltos, flujos piroclásticos e intercalaciones de brechas volcanoclásticas, dispuestas discordantemente sobre volcanitas y sedimentitas paleozoicas. Aflora, puntualmente, al norponiente de la cuenca.

- Lavas andesíticas cretácicas (Kv) (Cretácico superior)
  Secuencia volcánica de aspecto macizo con un fracturamiento moderado, de origen tectónico, distribuido homogéneamente en la roca. Aflora al Sur de la cuenca.

Mapa Geológico Cuenca N°1: Laguna del Negro Francisco



Mapa basado en la Hoja Laguna del Negro San Francisco (Iriarte y Mpodozis, 1995) y en el mapa de la carta "Hidrogeología de la cuanca Laguna del Negro Francisco" (Iriarte, Ugalde y Venegas, 998, escala 1:100.000)

Litologías

Cuaternario

- Depósitos aluviales (Qa)
- Depósitos coluviales (Qc)
- Depósitos de remoción en masa (Qrm)

Mioceno

- Depósitos aluviales antiguos (QTa)
- Lavas de Dos Hermanas (TMdh)
- Ignimbrita Negro Francisco (TMnf)
- Gravas de Atacama (Tga)
- Lavas del Mioceno Inferior (TMld)
- Rocas intrusivas intermedias a ácidas (Tg)

Complejo Volcánico Copiapó

- Lavas de los volcanes Azufre y Azufre Norte (Tvca)
- Flujos ignimbríticos y domos, Ignimbrita Copiapó I (Tvcc)
- Lavas dacíticas del volcán Copiapó (Tvcs)

Complejo volcánico y depósitos piroclásticos asociados

- Ignimbrita Sta. Rosa (TMv(a))
- Lavas andsíticas y daciandesíticas (TMv(c))

Complejo de domos y depósitos piroclásticos asociados

- Tobas y brechas dacíticas alteradas (Tlc(a))
- Domos y pórfidos dacíticos y andesíticos (Tlc(b))

Oligoceno

- Formación Astaburuaga (Ta)

Cretácico

- Lavas de Quebrada de Tapia (KTld)
- Lavas andesíticas cretácicas (Kv)

Triásico

- Formación La Ternera (Trlt)

Paleozoico

- Formación Chinches (Pzch)
- Formación Pantanoso (Pzp)
- Pórfido de Cerro Monardes (Pzpr)
- Tonalitas de Quebrada Monardes (Pzt)

Simbología

- Escarpe
- Falla inversa
- Falla normal
- Lineamiento
- Laguna del Negro Francisco
- Alteración hidrotermal (ah)

Referencias

Iriarte, S y Mpodozis, C. 1995. Mapa Geológico de la Hoja Laguna del Negro Francisco. Servicio Nacional de Geología y Minería. Documento de Trabajo N° 9.

Iriarte, Ugalde y Venegas. 1998. Mapa Hidrogeología de la Cuenca Laguna del Negro Francisco. Servicio Nacional de Geología y Minería. Documento de Trabajo N°10

Escala: 1:250.000

Datum: WGS 1984 19S

- Lavas de Quebrada de Tapia (KTld) (Cretácico superior – Paleoceno, 70 – 65 Ma)
  Corresponde a 400 m de lavas dacíticas, domos y flujos piroclásticos subordinados. Las lavas de caracterizan por su aspecto masivo y por niveles de brechas monomícticas autoclásticas en la base y en el techo de las coladas. Algunas corresponden a lavas domo. Aflora en la zona centro-oriental de la cuenca.

- Lavas del Mioceno inferior (TMld)
  Coladas de lavas andesíticas y dacíticas no alteradas. Su fuente y proveniencia son desconocidos. Aflora principalmente al este de la cuenca siguiendo un tendencia norte-sur y, puntalmente, en el noroeste y suroeste de la misma.

- Lavas de Dos Hermanas (TMdh) (Mioceno superior, 11 – 7 Ma)
  Lavas y depósitos de bloques de composiciones andesíticas y andesíticas basálticas provenientes del volcán Dos Hermanas. Aflora en el Sur y en el extremo suroriente de la cuenca.

- Ignimbrita Negro Francisco (TMnf) (Mioceno superior, 10 Ma)
  Depósitos de flujos piroclásticos de composición riolítica, compuestos por tobas escasamente soldadas, posiblemente asociados al colapso inicial del complejo volcánico Jotabeche. Se encuentra principalmente en la orilla Norte y puntualmente al poniente de la laguna y en el Sur de la cuenca.

- Formación Astaburuaga (Ta) (Oligoceno, 35 – 30 Ma)
  Brechas, tobas y lavas andesíticas. Aflora al oriente de la cuenca.

Rocas Intrusivas

- Pórfido de Cerro Monardes (Pzpr) (Paleozoico superior – Triásico)
  Pórfidos graníticos con grandes cristales de feldespato potásico, plagioclasas y ojos de cuarzo. Son cuerpos de pequeñas dimensiones (5 – 8 km2) elongados en dirección nor-noreste y muy ácidos. Incluye filones graníticos. Aflora en el extremo occidental de la cuenca.

- Tonalitas de Quebrada Monardes (Pzt) (Paleozoico superior – Triásico)
  Tonalitas y granodioritas de grano medio y una exposición superficial de 30 km^2. Intruyen a rocas de la Formación Chinches generando

aureolas de metamorfismo de contacto en los sedimentos y es intruida por diques andesíticos subparalelos orientados nor-noroeste y pórfidos riolíticos rosados. Aflora en el extremo occidental de la cuenca.

- Rocas intrusivas intermedias a ácidas (Tg) (Terciario)
  Cuerpos intrusivos hipabisales y domos de composición dacítica a riolítica y escasos pórfidos andesíticos. Fracturamiento moderado a débil, generalmente en la superficie de los cuerpos. Aflora al Sur de la cuenca.

Depósitos No Consolidados

- Gravas de Atacama (Tga) (Mioceno medio)
  Gravas y arenas gruesas polimícticas, mal consolidadas, disectadas por el drenaje actual y depositados en superficies peniplanizadas. Incluye intercalaciones ignimbríticas débilmente soldadas. Aflora en zona centro-oriental de la cuenca.

- Depósitos aluviales antiguos (QTa) (Mioceno – Plioceno)
  Sedimentos moderadamente bien consolidados, que, en parte, preservan su morfología de abanico aluvial. Los depósitos están compuestos por fragmentos heterocomposicionales, subangulosos a subredondeados, con tamaños que varían entre 1 y 10 cm y con dominio de partículas tamaño grava a arena. Se encuentra desde el centro hacia el Sur de la cuenca.

- Depósitos aluviales (Qa) (Cuaternario)
  Gravas, ripios, arenas y limos asociados al drenaje activo. Se encuentra a lo largo de toda la zona de estudio, en especial al noreste de la cuenca, alrededor de la Laguna del Negro Francisco.

- Depósitos coluviales (Qc) (Cuaternario)
  Gravas y ripios mal seleccionados restringidos a conos de deyección en quebradas y laderas de cerros, se incluyen depósitos de corrientes de barro. Se encuentra principalmente en la línea central de la cuenca, relacionada a los depósitos aluviales Qa y, puntualmente, en el Norte y Sur de la cuenca, asociado a estructuras.

- Depósitos de remoción en masa (Qrm) (Cuaternario)
  Depósitos no consolidados e incoherentes de bloques, gravas y arenas producidos por deslizamientos de roca y sedimentos en

laderas abruptas. Se encuentra principalmente en la zona oriental de la cuenca, siguiendo un tendencia noreste, y asociado a depósitos aluviales.

Complejos de domos y depósitos piroclásticos asociados (Mioceno inferior, 23 – 18 Ma)

Sistema de múltiples domos y pórfidos coalescentes de composiciones dacíticas y andesíticas de pequeño diámetro (< 1,5 km), asociados a fallas de rumbo de orientación NO activas al momento de su emplazamiento. Asociados a estos se desarrollan brechas de explosión, depósitos de flujos piroclásticos y extensos depósitos de caída plinianos. Respectivamente, las subunidades afloran en la zona nororiente y suroriente de la cuenca, en algunos casos asociadas a estructuras.

- Tobas y brechas dacíticas alteradas (Tlc(a))
- Domos y pórfidos dacíticos y andesíticos (Tlc(b))

Complejo Volcánico Copiapó (Mioceno Superior)

Incluye estratovolcanes, depósitos de flujo piroclástico, domos y pórfidos intrusivos dacíticos. Aflora en el extremo Norte de la cuenca, y se construyó en dos etapas: Tardía y Temprana. Las unidades presentes en la cuenca son:

- Etapa Tardía
  - Lavas dacíticas del volcán Copiapó (Tvcs)

- Etapa Temprana
  - Lavas de los volcanes Azufre y Azufre Norte (Tvca)
  - Flujos ignimbríticos y domos del volcán Copiapó; Ingnimbrita Copiapó I. (Tvcc)

Estratovolcanes del Mioceno Medio-Inferior (13-11 M.a.)

Estratovolcanes moderadamente a escasamente erodados que incluyen lavas andesíticas y daciandesíticas, depósitos de bloques y domos extrusivos. Además incluye flujos piroclásticos (ignimbritas Maricunga, Santa Rosa y Valle Ancho). Las unidades presentes en la cuenca son las siguientes, y afloran al oriente de la cuenca y en la orilla occidental, respectivamente:

- Ignimbrita Santa Rosa (TMv(a)) (Mioceno medio – inferior, 16 – 14 Ma)
- Lavas andesíticas y daciandesíticas (TMv(c)) (Mioceno superior – inferior, 16 – 14 Ma)

Estructuras

Se reconocen dentro de la cuenca fallas inversas, normales y numerosos lineamientos, de diferentes orientaciones. Hay mayor densidad de estructuras (principalmente lineamientos) en el sector sur-oriental de la cuenca.

Las fallas inversas son curvas y se se ubican puntualmente en el extremo centro-occidental de la cuenca y afectan exclusivamente a la unidad TMv(c).

Las fallas normales ubicadas desde el centro de la cuenca hacia el Norte poseen orientación noreste, mientras que las que se encuentran desde el centro hacia el Sur tienen orientación noroeste principalmente.

Los lineamientos se encuentran concentrados hacia el este de la cuenca, y poseen orientaciones noreste y noroeste.

En general, los depósitos no consolidados no se encuentran mayormente afectados por las estructuras.

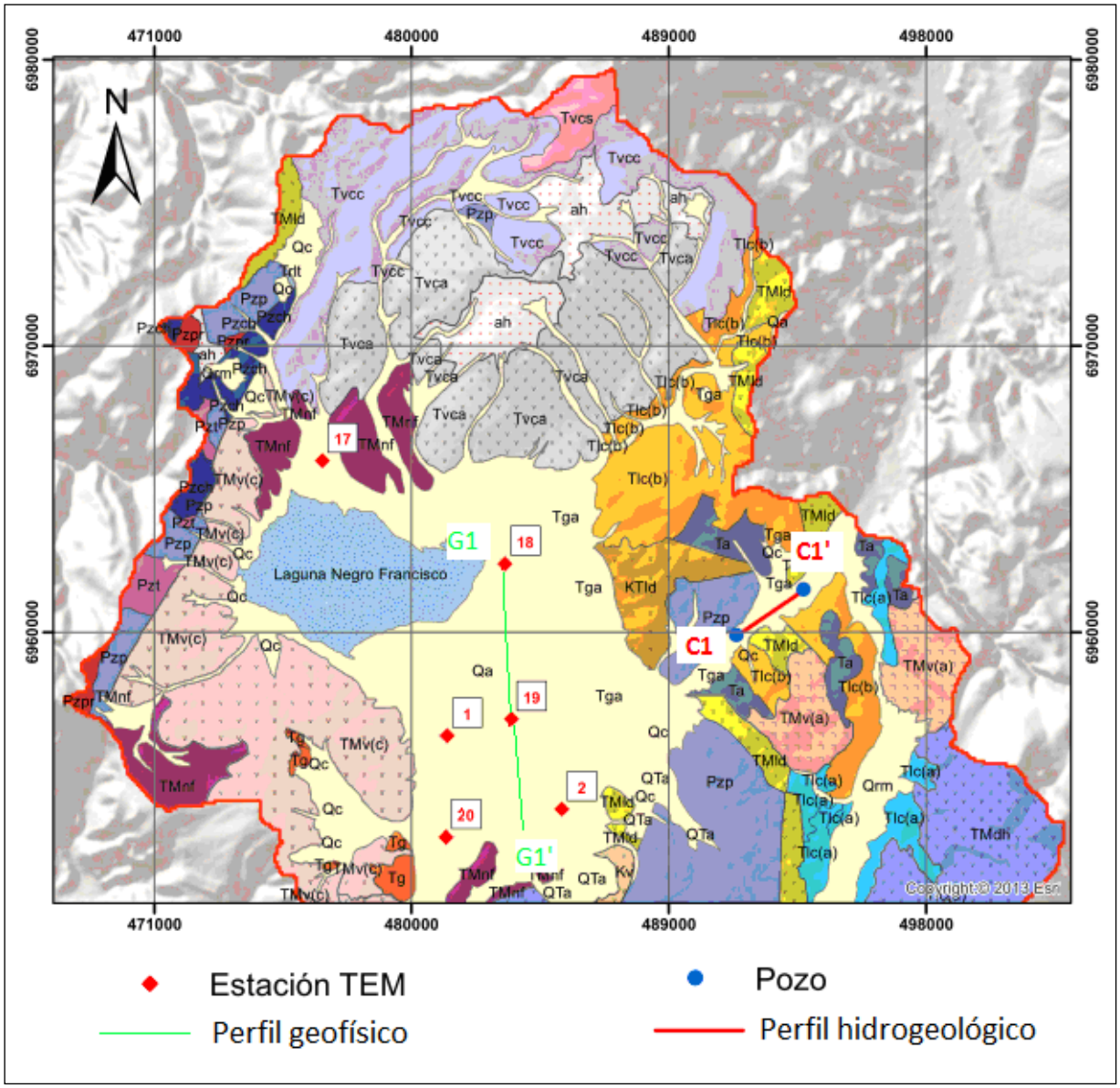
b) Perfiles Hidrogeológicos

De acuerdo a la información aportada por las descripciones estratigráficas de 2 pozos y a 6 estaciones geofísicas tipo TEM (Ver Cuadro 10.1-8), se trazó el Perfil hidrogeológico C1-C1’ Cuenca Laguna del Negro Francisco y el Perfil geofísico G1-G1’ Cuenca Laguna del Negro Francisco, ubicados como se ilustra en la Figura 10.1-29.

CUADRO 10.1-8
COORDENADAS Y COTA DE POZOS Y ESTACIONES TEM DE LA CUENCA LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO.

Nombre	Coordenadas (Datum WGS84, huso 19S)		Cota (m s.n.m.)
	Norte (m)	Este (m)	
EA-6	6.959.914	491.344	4.248
EA-2	6.961.521	493.694	4.278
1	6.956.395	481.226	4.165
2	6.953.832	485.228	4.270
17	6.966.016	476.858	4.150
18	6.942.408	483.249	4.600
19	6.956.990	483.474	4.174
20	6.952.868	481.174	4.197

FIGURA 10.1-31
UBICACIÓN PERFILES, POZOS Y ESTACIONES TEM



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

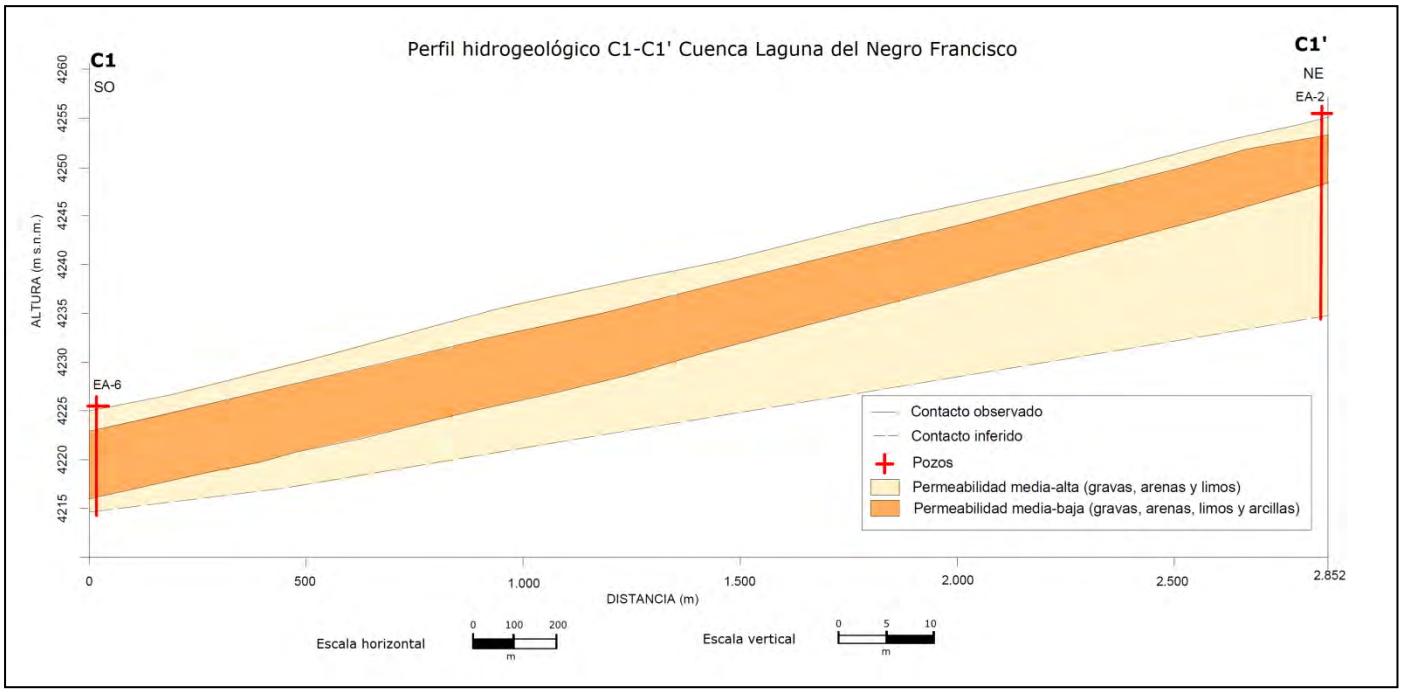
- **Perfil hidrogeológico C1-C1' Cuenca Laguna del Negro Francisco**

El perfil hidrogeológico posee una orientación suroeste-noreste y una longitud de casi 3 km. En él se reconoce una secuencia de 2 unidades. En la parte superior, una de permeabilidad media-alta compuesta de gravas, arenas y limos, de espesor promedio menor a 5 m (Figura 10.1-32).

Subyaciendo a ésta, hay una unidad de permeabilidad media-baja correspondiente a gravas, arenas, limos y arcillas, de espesor promedio 10 m, aproximadamente. Bajo ella vuelve a encontrarse la unidad mencionada anteriormente, pero en este tramo posee una potencia entre 3 y 20 m.

El acuífero se identifica en estas 2 unidades, por lo tanto, debiese tener una potencia de al menos 10 m.

FIGURA 10.1-32
PERFIL HIDROGEOLÓGICO C1-C1' CUENCA LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO

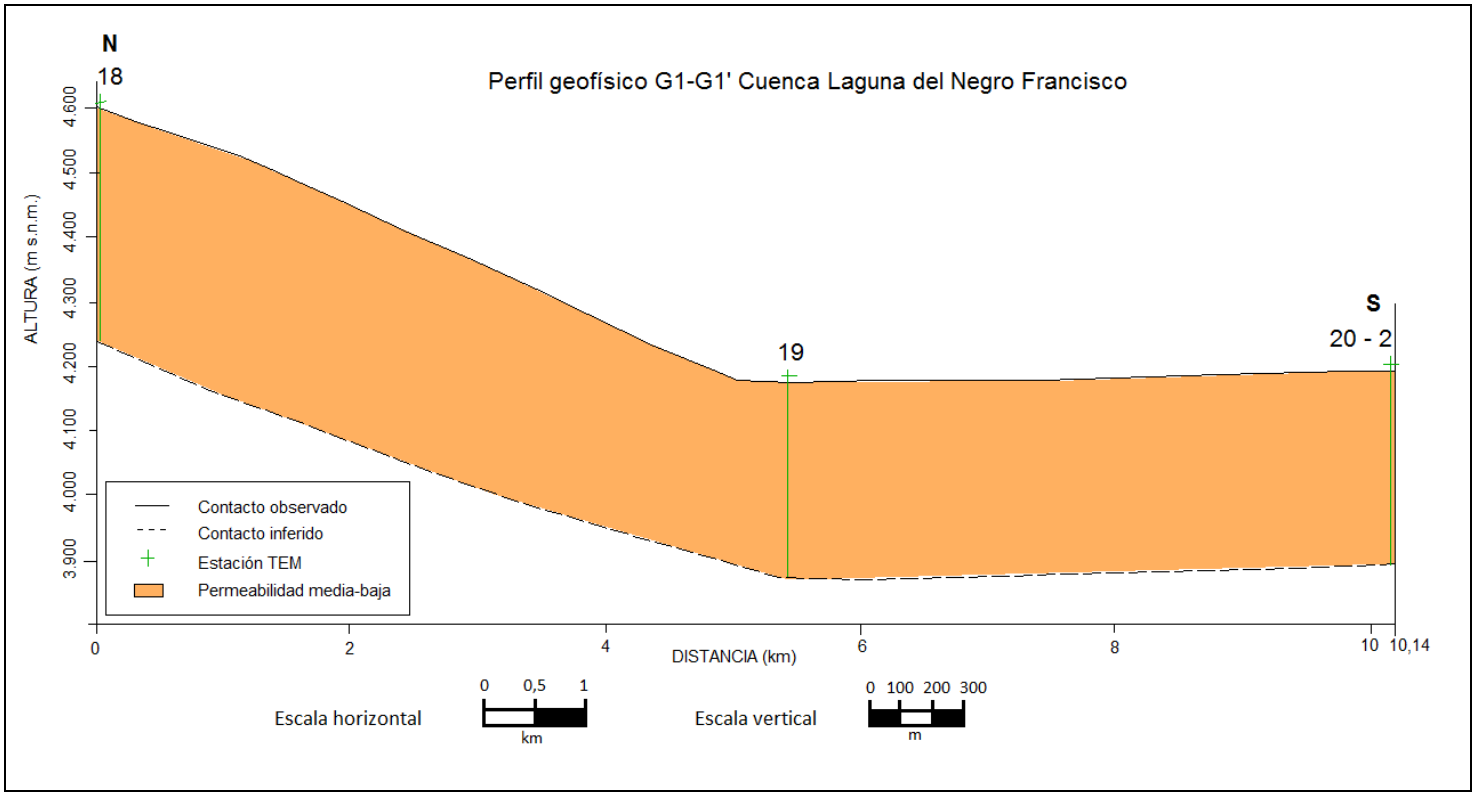


Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

- **Perfil geofísico G1-G1' Cuenca Laguna del Negro Francisco**

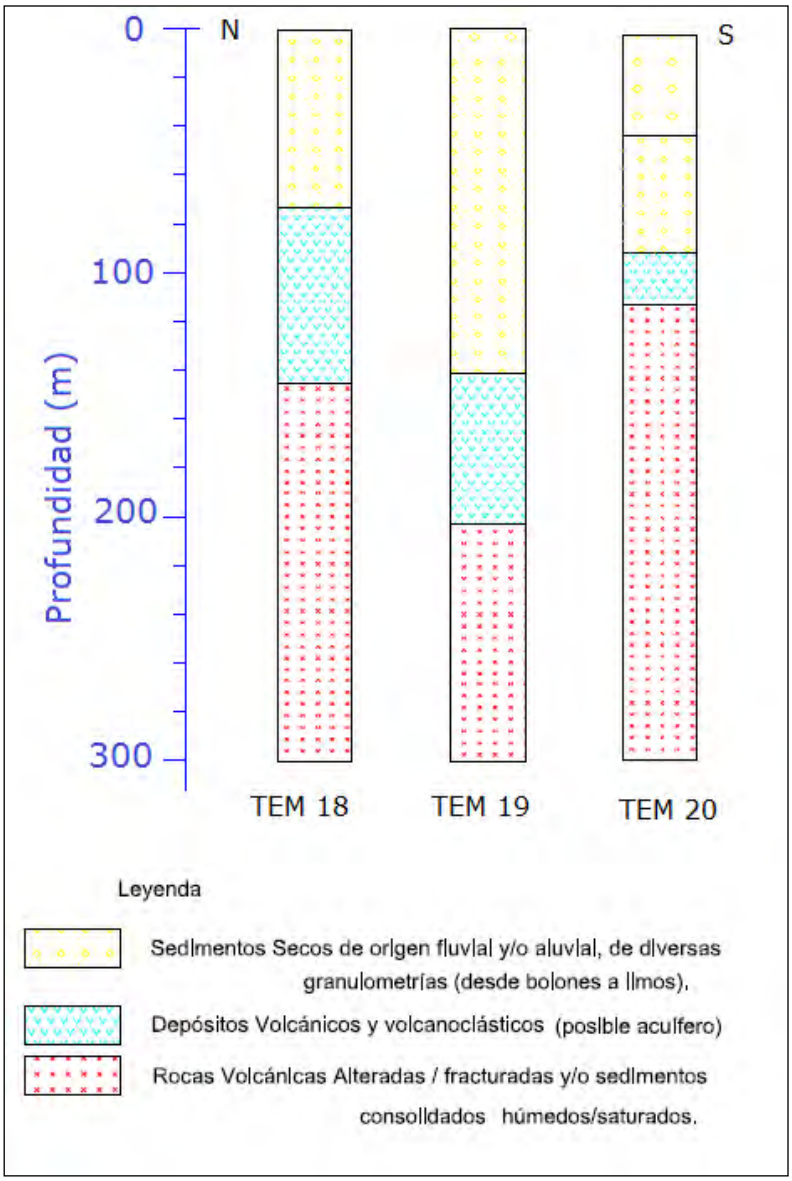
En la Figura 10.1-33, correspondiente al Perfil geofísico G1-G1' estructurado a partir del estudio geofísico en las estaciones TEM 18, 19, 20 y 2 (Figura 10.1-34), se observa que todas las unidades reconocidas poseen una permeabilidad media-baja. En esta secuencia se encontraría el acuífero, pero su base no se logra identificar. De todos modos, se puede inferir que estaría a una profundidad mayor a 300 m.

FIGURA 10.1-33
PERFIL GEOFÍSICO G1-G1' CUENCA LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

FIGURA 10.1-34
COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS ESTACIONES TEM 18, 19 Y 20



Fuente: Geodatos 2013

10.2. Definición de Acuíferos. Hidrogeología

En la definición de acuíferos se ha usado, cuando corresponde, básicamente la siguiente información:

- Planos de construcción de pozos, obtenidos de los expedientes de derechos de aguas subterráneas.
- Geofísica efectuada en estudios anteriores
- Información hidrogeológica incluida en estudios anteriores
- Información hidrogeológica incluida en las DIA que han sido presentadas en la zona de interés.
- Estudio geológico desarrollado precedentemente (punto 10.1)

10.2.1. Cuenca N° 32. Salar de Gorbea

a) Acuíferos

Corresponde a la cuenca endorreica que se encuentra más al Norte de la región de Atacama, limitando por el Norte con la Región de Antofagasta, al oriente con Argentina y al poniente con la hoya del Salar de la Azufrera. Esta hoya hidrográfica posee una superficie de 357 km^2, que en su mayoría corresponde a sectores rocosos y de lava, con una elevación media de 4.431 m s.n.m.

El salar propiamente tal tiene una superficie de 27 km^2 y se encuentra en el sector poniente de la cuenca. Su alimentación hídrica es a través de varias quebradas intermitentes que descienden desde el este y desde el Sur. En su interior se encuentran una serie de lagunas que son casi todas "ojos" de unos metros de profundidad. Más al Sur existe un pequeño salar, de nombre Salar Ignorado, que aparece casi como una subcuenca del salar de Gorbea, pero en terreno, el relieve que separa a las cuencas es bien marcado. Corresponde a costra salina con mucho sulfato de calcio (yeso). Las lagunas son casi todas "ojos" de unos metros de profundidad donde aparece la salmuera subterránea.

La información que se ha utilizado para la definición de acuíferos es la siguiente:

- 3 pozos con sus respectivos planos de construcción y pruebas de bombeo asociadas: pozos SGB 8, SGB 12 (AMX de Chile S.A.) y SGB 15 (Cerro Pudiera S.A.)
- Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas, I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de Cuencas de la III Región, SIT Nº 51, DGA, MOP, Enero de 1999.

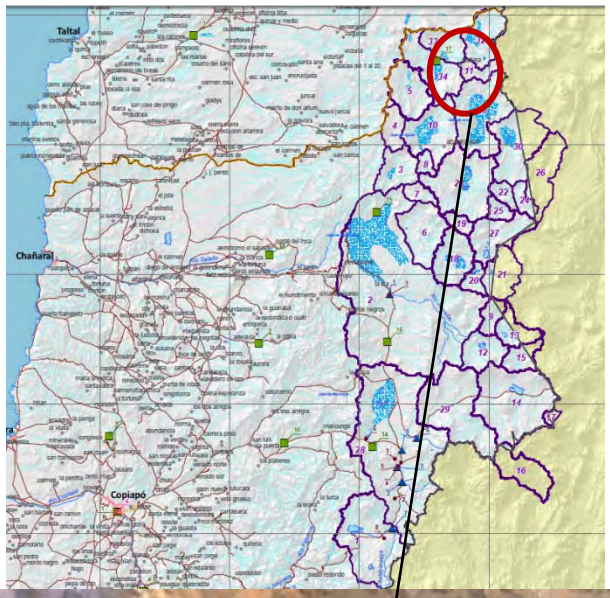
- Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II y III. Parte IV, SIT Nº 195, Dictuc, DGA, MOP, 2009.

De acuerdo a la justificación técnica de los radios de protección, presentada en los expedientes de los pozos, se indica que el acuífero presente en el sector del Llano Gorbea tiene una extensión de 4 km de ancho por 5 km de largo, con una orientación sureste-noroeste y que formaría parte de una cuenca hidrogeológica de grandes dimensiones y mayor que la cuenca hidrográfica del sector. El espesor de este acuífero varía entre los 50 m en el lado este a 200 m en el Oeste.

En el sector donde se ubican los pozos, se ha definido una unidad acuífera saturada explotable que tiene una potencia de 300 m aproximadamente. Según el sondaje SGB-15 el acuífero se encuentra en los depósitos volcánicos modernos, los cuales presentan distintos grados de fracturamiento y alteración, esto último hace que la permeabilidad sea también variable y, en algunos lugares de menor ocurrencia de fracturas, actúe como un nivel capaz de semiconfinar a él/los acuífero/s alojados.

En la Figura 10.2-1 se muestra la disposición en planta de la cuenca del Salar de Gorbea, indicando los principales sectores de esta cuenca, la ubicación de los pozos (SGB 8, SGB 12 y SGB 15) y las cotas de los afloramientos de aguas. En la Figura 10.2-2 se presentan las columnas estratigráficas de los pozos SGB-8, SGB-12 y SGB-15 (Pozos de AMX Chile)

FIGURA 10.2-1
CUENCA Nº 32. SALAR DE GORBEA



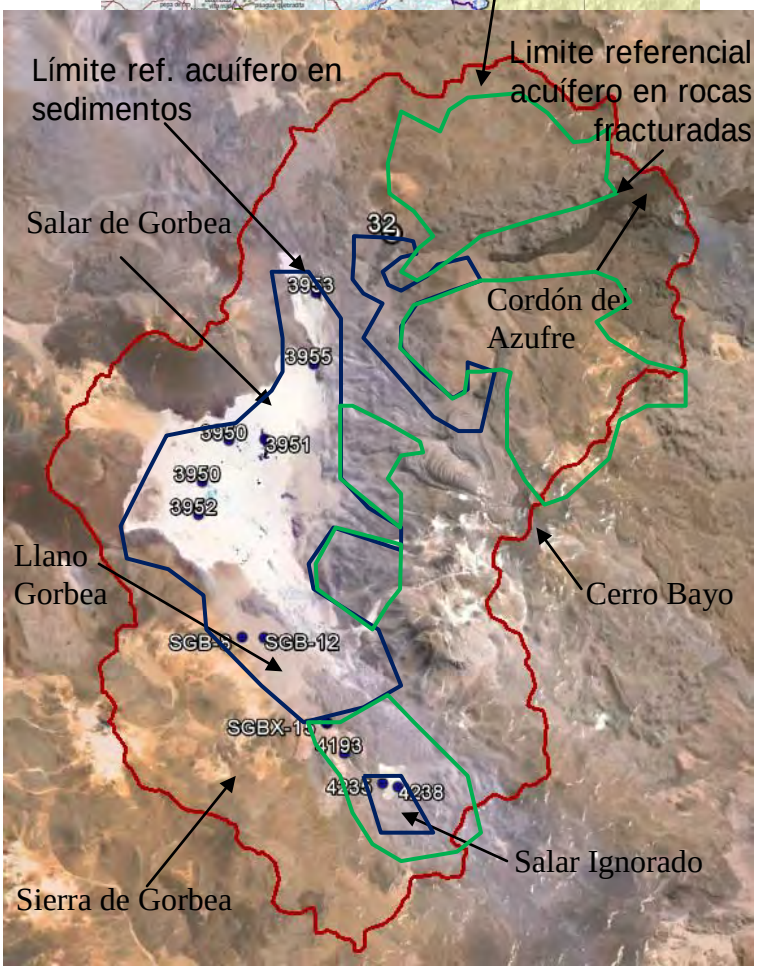
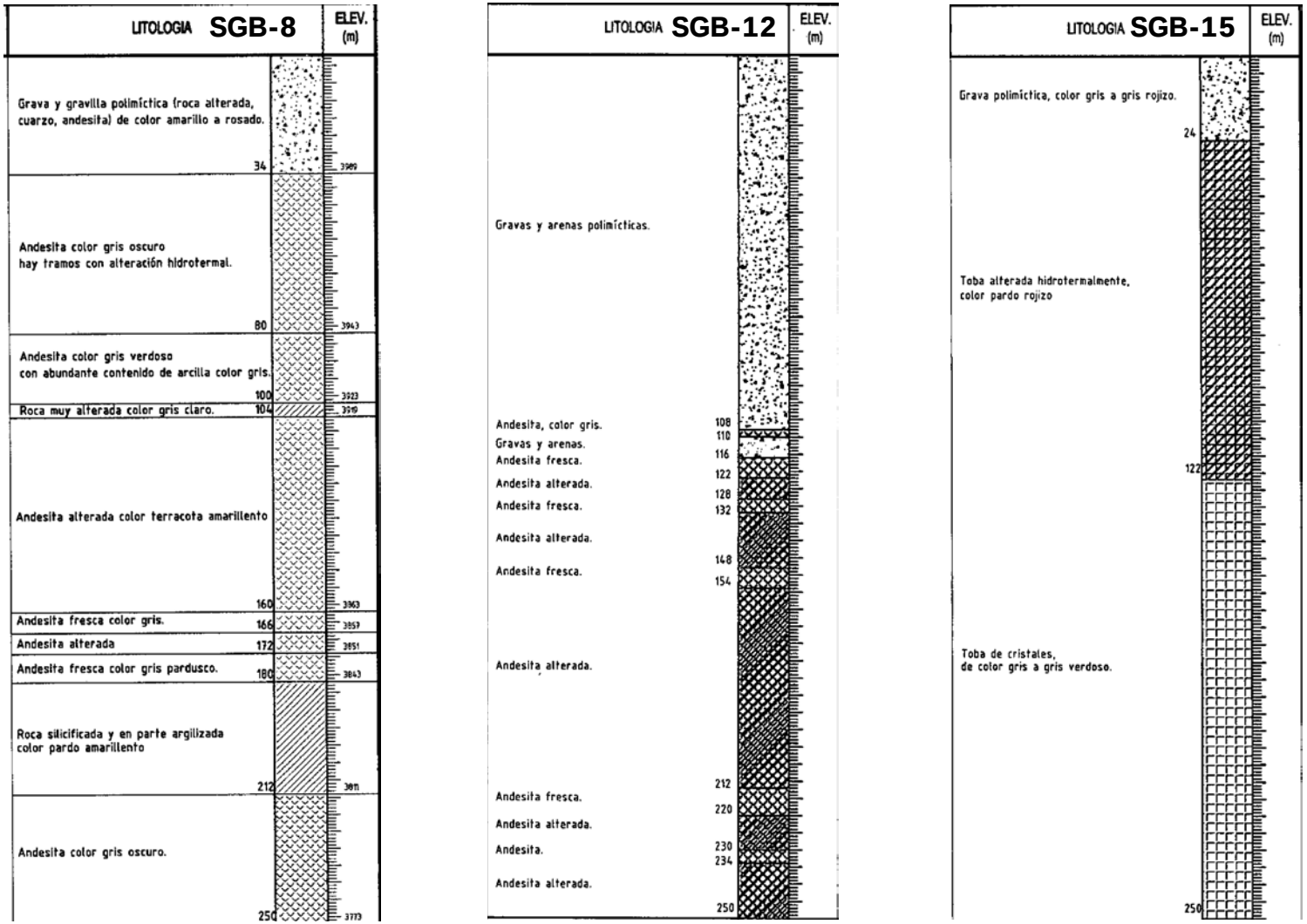


FIGURA 10.2-2
COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS DE LOS POZOS SGB-8, SGB-12 Y SGB-15 (AMX Chile)



b) Exploración Geofísica

En la cuenca del Salar de Gorbea no existe información detallada de trabajos geofísicos efectuados. Sin embargo, en los informes adjuntos de los pozos de bombeo (AMX Chile) para solicitar el radio de protección de ellos, se indica la existencia de perfiles geofísicos trazados con el método transiente electromagnético (TEM).

De estos perfiles se ha descrito una unidad superior seca, que corresponde a depósitos sedimentarios y, en algunos sectores, niveles volcánicos modernos con potencias que alcanzan los 200 m. La subyace una unidad de resistividad media-baja saturada que presenta sedimentos aluviales en el techo, y en profundidad, depósitos volcánicos modernos que se encuentran fracturados y alterados en distintos grados con potencia que alcanzan llegan a los 200 m en el suroeste, encontrándose en estos niveles el acuífero explotable.

Infrayaciendo los niveles anteriores, se encuentra una unidad de resistividad baja que estaría constituida por los depósitos volcánicos modernos saturados de alta salinidad o salmuera y que limitaría con su techo a la base del acuífero de buena calidad. Finalmente entre 300 y 600 m de profundidad se encuentra el basamento que corresponde a depósitos volcánicos frescos y masivos.

c) Niveles de Aguas Subterráneas

Los niveles de aguas subterráneas se circunscriben sólo a los niveles medidos cuando se hicieron las pruebas de bombeo en los pozos existentes, y que aparecen registrados en las fichas técnicas de los pozos que se encuentran en la DGA. La información de los pozos como ubicación, cota, nivel, cota del nivel y caudal asociado se presentan en la Cuadro 10.2-1.

CUADRO 10.2-1
POZOS CON NIVELES EN LA CUENCA DEL SALAR DE GORBEA

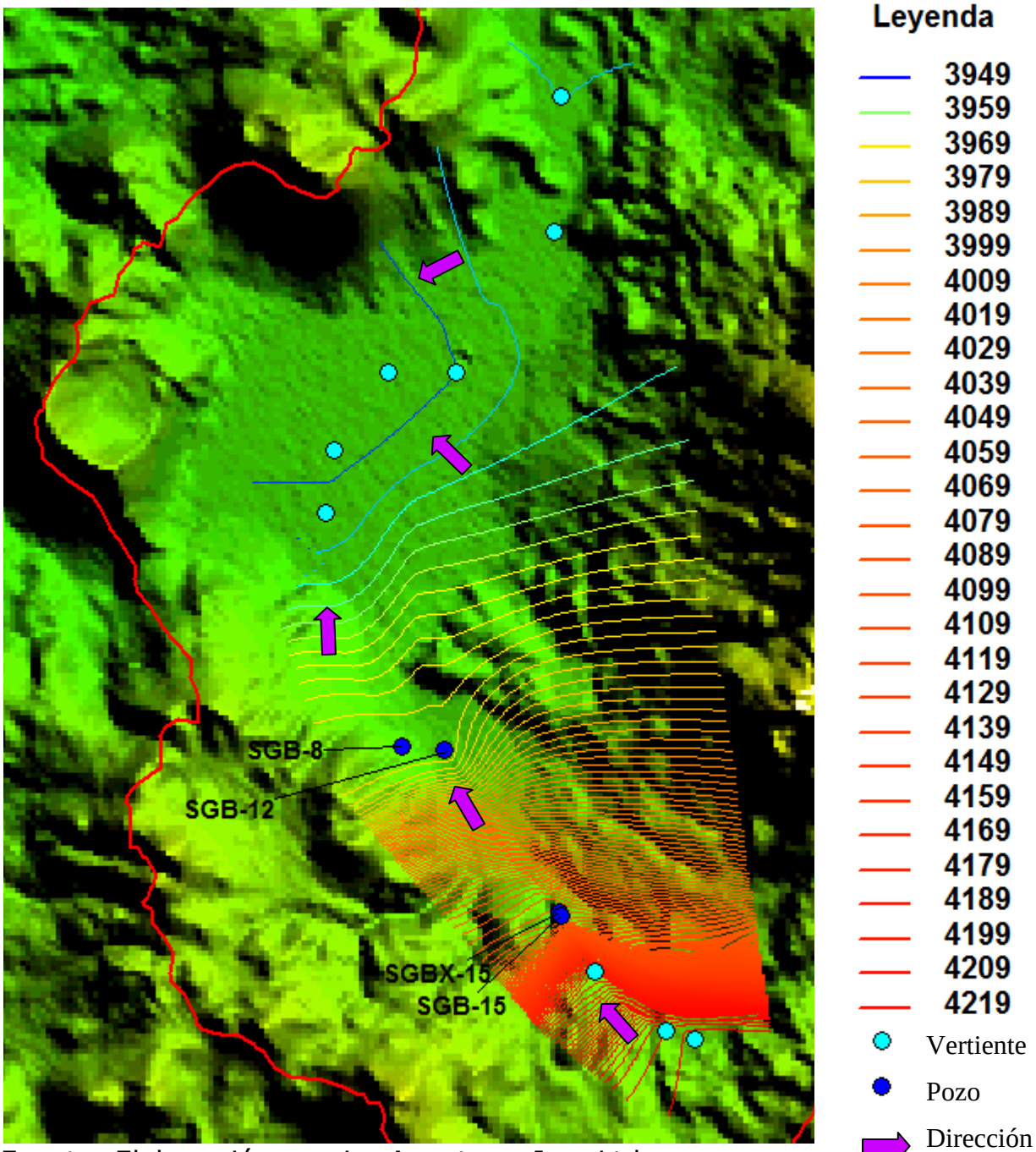
Pozo	Norte (m)	Este (m)	Cota (m.s.n.m.)	Caudal (L/s)	Nivel (m.b.n.t.)	Cota nivel (m.s.n.m.)
SGB-8	7.184.445	533.314	4.023	50	50,52	3.972,48
SGB-12	7.184.548	534.000	3.995	50	53,34	3.941,66
SGB-15	7.181.725	535.948	4.097	40	27,89	4.069,11
SGBX-15	7.181.773	535.913	4.096	n/a	26,59	4.069,41

Se presenta a continuación la Figura 10.2-3, donde se observan las curvas equipotenciales construidas a partir de los datos de la cota de nivel de cada pozo y de los valores de cota extraídos del Google Earth para los afloramientos de agua en la vega ubicada al Sur de los pozos y del Salar de Gorbea situado al Norte de estos. Es relevante indicar que la densidad de información es más bien escasa por

lo que estas isopiezas deben ser tratadas como referenciales, pues se genera un gradiente inducido por 4 ubicaciones geográficas con información de la posición de la tabla de agua.

Las equipotenciales indican una dirección de flujo preferencial suroeste-noreste, existiendo aportes desde el Salar Ignorado hacia el Salar de Gorbea, donde confluyen las aguas, en su borde noroccidental.

FIGURA 10.2-3
PIEZOMETRÍA CUENCA DEL SALAR DE GORBEA.
CURVAS CADA 2 METROS



Fuente: Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

d) Constantes Elásticas

Para caracterizar el acuífero se utilizan los conceptos de transmisividad (T) y coeficiente de almacenamiento (S), que representan sus constantes elásticas. El primero de éstos es una medida de la cantidad de agua que puede ser transmitida horizontalmente por el acuífero a través de un ancho unitario, dentro del espesor saturado y con un gradiente también unitario. Este parámetro se calcula como el producto de la conductividad hidráulica (K) y el espesor saturado del acuífero (b):

$T = K \cdot b$ (unidades m^2/d)

En algunos casos también se utiliza únicamente la conductividad hidráulica (K, unidades m/d), que es una medida de la habilidad de un fluido para moverse a través de los espacios interconectados de los sedimentos o rocas. Ésta depende tanto del fluido como del medio.

Por otra parte, el coeficiente de almacenamiento (S, adimensional) representa el volumen de agua por unidad de superficie que un elemento permeable absorbe o libera de su almacenamiento cuando hay un cambio unitario en la carga hidráulica. Valores típicos de acuíferos libres varían en el orden de 0,02 a 0,30, mientras que los de acuíferos confinados suelen ser menores o iguales a 0,005 (Fetter, C. W., 2001).

Se realizaron pruebas de bombeo en los pozos SGB-8, SGB-10 y SGB-12, los valores obtenidos de las constantes hidráulicas se presentan en la Cuadro 10.2-2.

Según lo enunciado en el expediente del pozo SGB-8, se aprecia un acuífero saturado ubicado en el techo de los niveles andesíticos, entre los 32 y 50 m, que no influiría en el bombeo desarrollado.

Los acuíferos saturados que aportan agua durante el bombeo se encuentran en los niveles que presentan permeabilidad secundaria en los depósitos andesíticos, estos se ubican entre los 106-138 m, 147-168 m, 181-210 m y presentan un carácter semiconfinado a confinado. Los valores del coeficiente de almacenamiento se obtuvieron de los pozos de observación AX-8 y AB-8, ubicados a 86 y 157 m del pozo SGB-8 respectivamente.

CUADRO 10.2-2
CONSTANTES ELÁSTICAS DE LA CUENCA SALAR DE GORBEA

Pozos	Transmisividad m2/d	Coeficiente de almacenamiento	Métodos
SGB-8	200	n/a	Promedio T
AX-8	343	$3{,}43 \times 10^{-4}$	Moench
AB-8	343	$3{,}43 \times 10^{-3}$	Moench
SGB-12	427	$4{,}29 \times 10^{-3}$ a $1{,}46 \times 10^{-4}$	Theis-Jacob
SGB-15	83,4	n/a	Theis-Jacob
SGBX-15	243	$1{,}2 \times 10^{-4}$ a $1{,}45 \times 10^{-5}$	Theis-Jacob

e) Volúmenes Embalsados

El concepto de volumen almacenado tiene relación con el agua contenida dentro del acuífero y que es susceptible de ser drenada. Para determinar este volumen de agua se debe conocer la extensión del acuífero, su espesor y el coeficiente de almacenamiento promedio que se alcanzará al drenar el acuífero.

La cuantía del volumen almacenado permite visualizar la magnitud del acuífero y su capacidad de regulación. Este último aspecto es de suma importancia cuando el acuífero es intensamente explotado y el agua almacenada en el acuífero debe suplir los periodos de sequía. por supuesto que mientras mayor es la dimensión del acuífero, mejor es su capacidad de regulación.

En esta cuenca, sólo se posee información de los expedientes presentados a la DGA de los pozos SGB-8 (y su pozo de observación AX-8), SGB-12 y SGB-15 (con su pozo de observación SGBX-15). De acuerdo a los antecedentes presentados en estos pozos se observa un acuífero freático saturado entre los 32 y 50 m, que estaría sobreyaciendo a andesitas sin fracturamiento, y que se encontrarían desvinculadas de aquellos niveles que aportaron agua a las pruebas de bombeo. Los acuíferos saturados que aportan agua durante el bombeo se encuentran en los niveles que presentan permeabilidad secundaria debido a fracturamiento en los depósitos andesíticos, estos se ubican entre los 106-210 m y presentan un carácter semiconfinado a confinado.

Debido a la existencia de estos dos acuíferos, es que se presenta el volumen embalsado de manera independiente para ambos acuíferos. Así para el acuífero freático se utiliza el menor valor de coeficiente de almacenamiento entregado por la literatura para acuíferos libres, equivalente a un 2%, (Fetter, C. W., 2001). Mientras que para el acuífero semiconfinado a confinado, el valor de S se obtuvo

mediante las pruebas de bombeo, y el valor utilizado consiste a un promedio del coeficiente de almacenamiento igual a 0,0014.

El espesor saturado medio, para los sedimentos que componen el acuífero freático, corresponde a 20 m. Mientras que el espesor saturado de las rocas que componen el acuífero semiconfinado a confinado posee una potencia media de 100 m.

La superficie que ocupa el relleno sedimentario corresponde a 59,58 km^2, mientras que las andesitas donde se aloja el acuífero en rocas fracturadas corresponderían a las rocas del Plioceno (NQvV), las que en el área de estudio poseen una superficie de 85,61 km^2, totalizando así una superficie de 145,19 km^2.

Así, los volúmenes almacenados obtenidos para los sedimentos superficiales y para las rocas fracturadas y sedimentos volcanoclásticos semi confinados a confinados corresponden a: 23,8 Mm^3 y 12 Mm^3 respectivamente. Totalizando así un volumen embalsado para la cuenca del Salar de Gorbea de: 35,8 Mm^3. Los valores utilizados para estos cálculos se presentan en el Cuadro 10.2-3.

CUADRO 10.2-3
VOLUMEN DE AGUA EMBALSADA CUENCA SALAR DE GORBEA

Espesor saturado (m)	Superficie (m^2)	Coeficiente de Almacenamiento	Volumen Almacenado (m^3)	Sector
20	59.580.000	0,02	23.832.000	Acuífero freático
100	85.610.000	0,0014	11.985.400	Acuífero semiconfinado
			35.817.400	Total

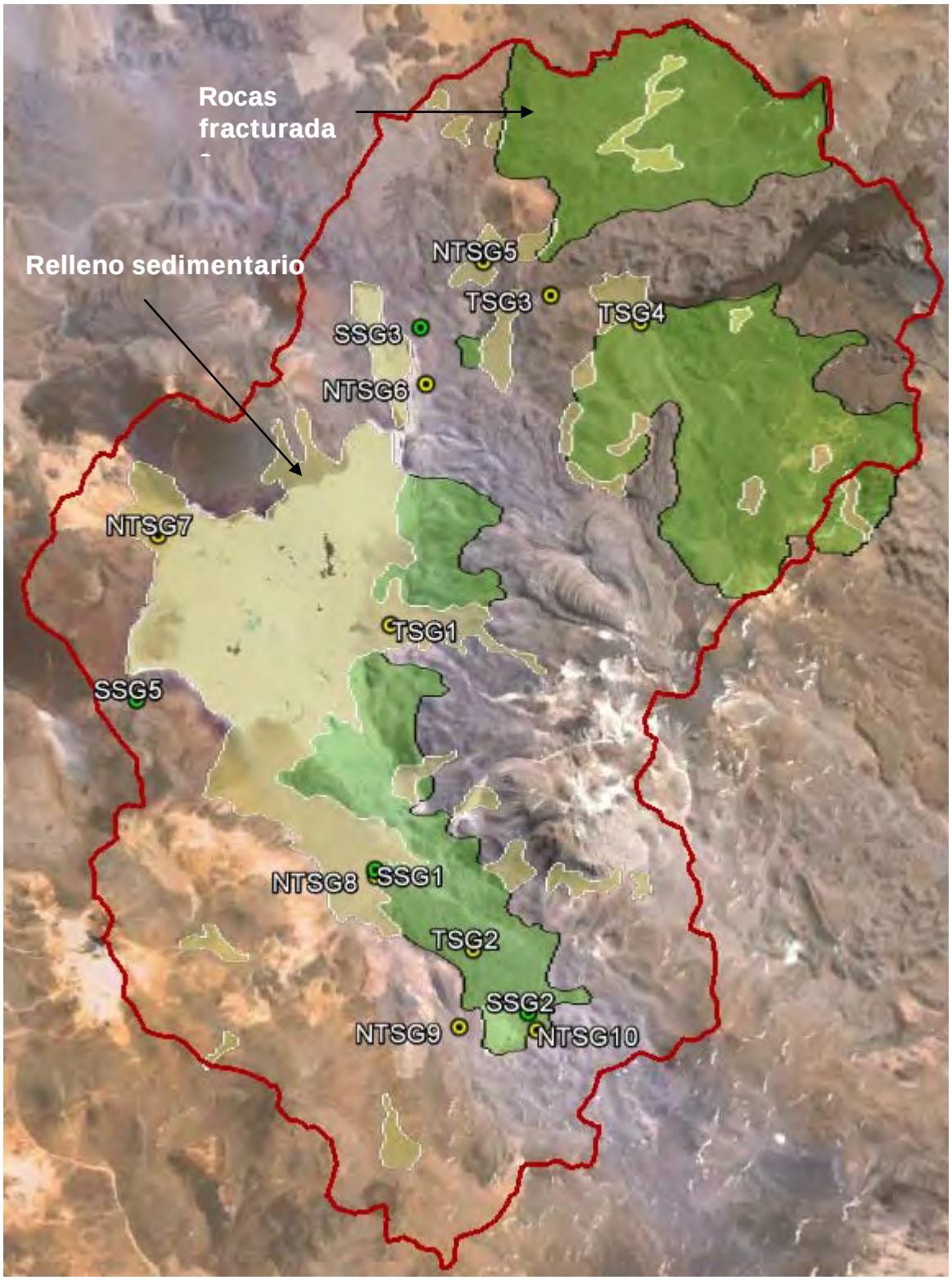
De acuerdo a los exiguos antecedentes, tanto geofísicos como piezométricos presentes en esta cuenca, es que se propone, dentro de los trabajos futuros, realizar una campaña de prospecciones geofísicas del tipo TEM y NanoTEM, y la perforación de sondajes de pequeño diámetro, los que permitirían un mayor conocimiento de las direcciones de flujo subterráneo y una mejor comprensión de la distribución y comportamiento hidráulico de las rocas fracturadas que conforman el acuífero semi confinado a confinado.

Así, se recomienda la perforación de 5 sondajes, con profundidades que varían entre 60 a 200 m, además de la medición de 4 estaciones TEM y 5 estaciones NanoTEM, totalizando así 9 estaciones geofísicas. Las características de las prospecciones se observan en el Cuadro 10.2-4.

CUADRO 10.2-4
PIEZÓMETROS Y GEOFÍSICA TEM Y NANOTEM PROPUESTA EN LA CUENCA DEL SALAR DE GORBEA

Piezómetros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Tipo	Profundidad (m)
SSG1	535.197	7.183.556	Piezómetro	180
SSG2	538.777	7.180.214	Piezómetro	180
SSG3	536.313	7.196.209	Piezómetro	60
SSG4	537.634	7.197.925	Piezómetro	120
SSG5	529.609	7.187.544	Piezómetro	200
TSG1	535.579	7.189.270	TEM	300
TSG2	537.489	7.181.686	TEM	300
TSG3	539.373	7.196.946	TEM	300
TSG4	541.479	7.196.299	TEM	300
NTSG5	537.796	7.197.741	NanoTEM	60
NTSG6	536.437	7.194.890	NanoTEM	60
NTSG7	530.129	7.191.383	NanoTEM	60
NTSG8	535.217	7.183.408	NanoTEM	60
NTSG9	537.154	7.179.881	NanoTEM	60
NTSG10	538.967	7.179.802	NanoTEM	60

FIGURA 10.2-4
PROSPECCIONES PROPUESTAS EN CUENCA SALAR DE GORBEA



10.2.2. Cuenca N° 33. Salar de la Azufrera

a) Acuíferos

El salar de la Azufrera se encuentra en el extremo Norte de la Cordillera de los Andes. Es una costra de yeso con dos lagunitas adjuntas a su orilla occidental. En el volcán que cierra la cuenca al este, existe un importante yacimiento de azufre anteriormente explotado. También existe azufre en el volcán Azufre, al noroeste de la cuenca. En las ignimbritas que bordean la orilla noroeste del salar se encuentran varias cuevas que sirvieron de campamento durante la explotación de la azufrera, correspondiente al campamento Plato de Sopa.

La cuenca hidrogeológica donde se emplaza el acuífero, es de origen tectónico, caracterizado por un lineamiento en dirección SSO-NNE, que atraviesa el LLano Plato de Sopa. La cuenca se encuentra rellena por sedimentos provenientes de la meteorización de las rocas del entorno (andesitas, tobas, rocas alteradas/fracturadas). También se reconocen unidades acuíferas en rocas donde asociado al fallamiento principal, se produce un fracturamiento secundario, con fallas de dirección E-O.

La cuenca se encuentra a una altura promedio de 3.993 m s.n.m., posee una superficie de 250 km^2, mientras que la superficie del salar y de las lagunas son de 3,3 y 0,02 km^2, respectivamente.

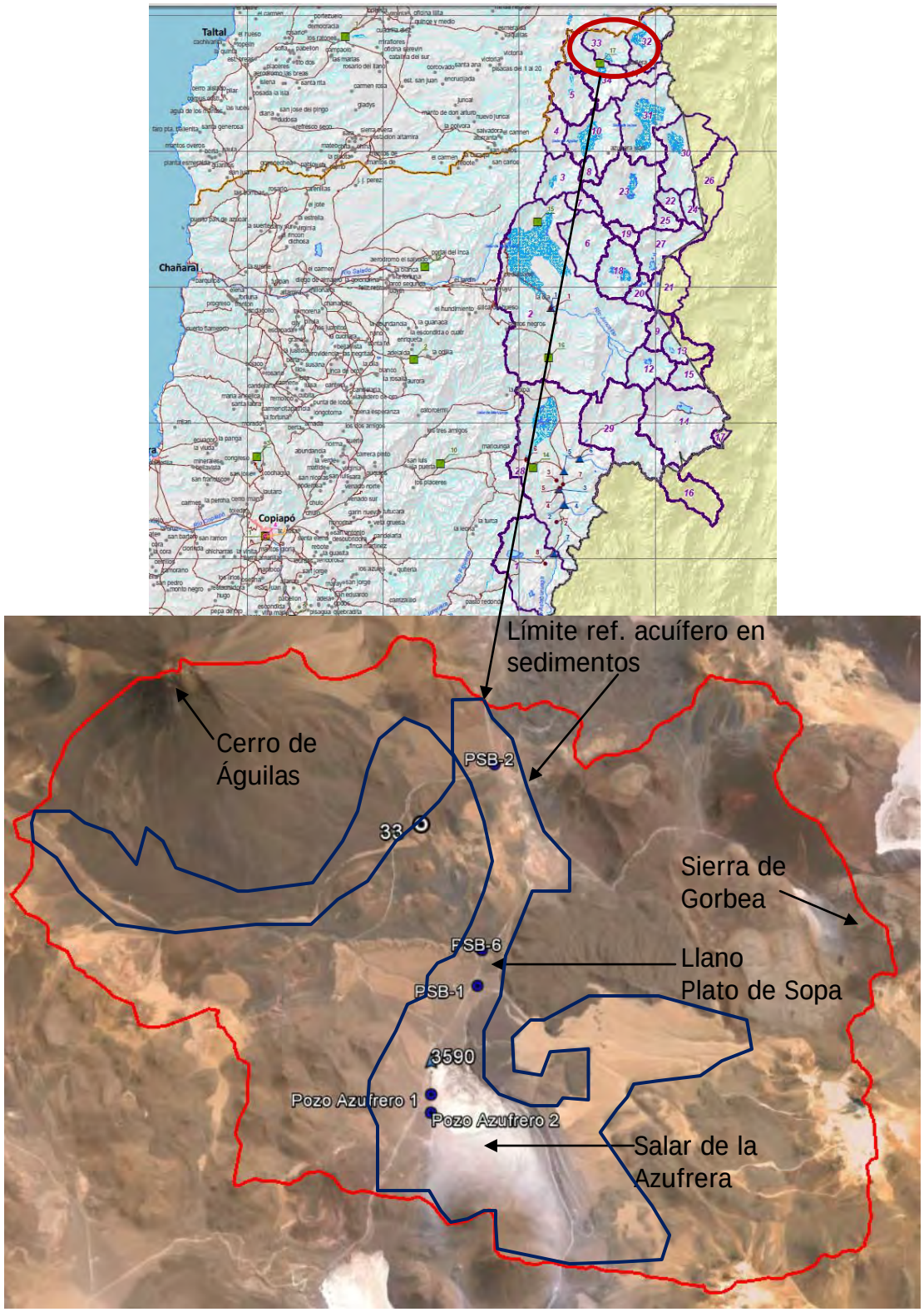
Para la laguna más pequeña y más cercana además al campamento Plato de Sopa, se reconocieron dos aportes, una napa subterránea en una pileta que servía para la alimentación del campamento y una vertiente difusa, 400 m más al Sur, en el bofedal que alimenta la lagunita.

Para este salar, existe información de cinco pozos PSB-1 (Expedientes DGA ND-0301-762), PSB-2 (ND-0301-715), PSB-6 (ND-0301-760), y los Pozos Azufrero 1 y 2 (ND-0301-125). de los que se tiene el expediente presentado en la DGA. En los antecedentes, se recopilaron datos pero con énfasis en la hidrogeoquímica, en la REF-7, Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II y III Regiones - Chile, DGA-UCN-IRD, 1999.

Los pozos se orientan de Norte a Sur como PSB-2, PSB-6, PSB-1 y en el borde del Salar de la Azufrera, se encuentran los pozos (que más bien son punteras) Pozos Azufrero 1 y 2. En ellos se describe en superficie una unidad acuífera de una potencia media de 55 m; la base de esta unidad está definida como la zona saturada de alta salinidad reconocida en los pozos perforados. En el pozo PSB-2 el sistema acuífero se aloja principalmente en gravas de permeabilidad primaria y en rocas volcánicas (tobas y lavas) con permeabilidad secundaria.

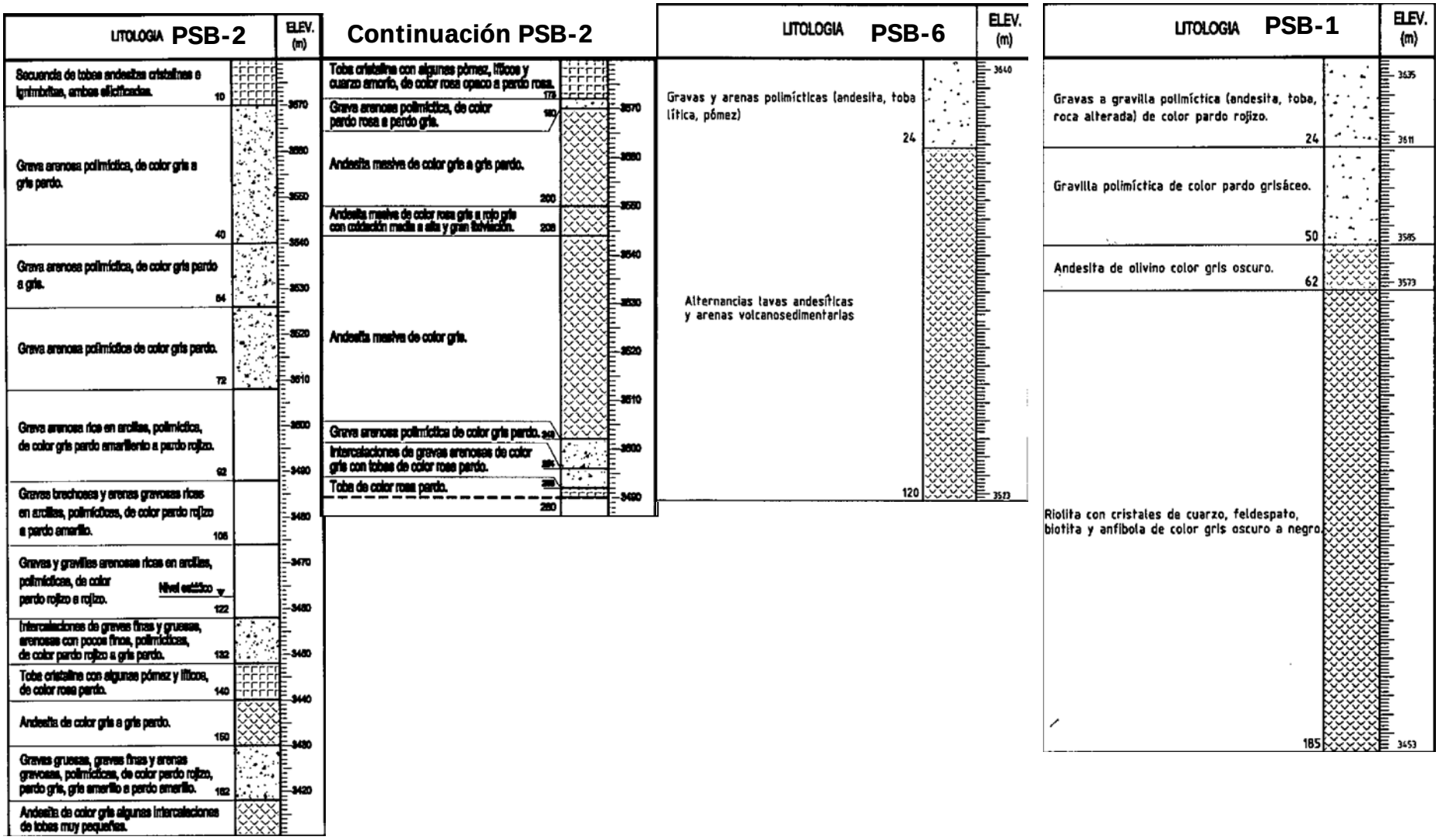
En la Figura 10.2-5 se muestra la disposición en planta de la cuenca del Salar de La Azufrera, en conjunto con los nombres de las principales características de la cuenca y la ubicación de los pozos. Las columnas estratigráficas de éstos se presentan en la Figura 10.2-6.

FIGURA 10.2-5
CUENCA Nº 33. SALAR DE LA AZUFRERA



Norte **Sur**

FIGURA 10.2-6
COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS DE LOS POZOS PSB-2, PSB-6 Y PSB-1



b) Exploración Geofísica

En la cuenca del Salar de la Azufrera existe información de perfiles TEM presentados en el marco hidrogeológico de la Justificación Técnica del Radio de Protección, en los expedientes de derechos otorgados en la cuenca, sin embargo la información es más bien exigua, y no presenta la traza o ubicación de la geofísica realizada.

Así, en el pozo PSB-2 se reporta una unidad superior de alta resistencia que corresponde a depósitos sedimentarios y en algunos sectores, secuencias volcánicas secas. La infrayace unos depósitos volcánicos medianamente a altamente fracturados con intercalaciones sedimentarias, en ésta zona es donde se encuentra el potencial acuífero. Esta unidad presenta zonas, especialmente en áreas ubicadas en el Sur del acuífero, de baja resistividad que representarían a depósitos fracturados saturados de agua salada. Subyaciendo los depósitos anteriores, se ubica una unidad de muy baja resistividad que correspondería a salmueras, las cuales limitarían en su techo la base del acuífero de mejor calidad expuesto previamente.

Este acuífero de mejor calidad se encontraría en la zona donde el componente sedimentario presenta escasa a nula compactación y los depósitos volcánicos se encuentran con distintos grados de fracturamiento, esto último hace que la permeabilidad sea también variable y en algunos lugares de menor ocurrencia de fracturas, actúe como un nivel que sería capaz de semiconfinar al acuífero alojado, ya sea en unidades volcánicas o en secuencias sedimentarias subyacentes.

Según los antecedentes geofísicos presentados en el expediente del pozo PSB-1, mediante perfiles trazados según el método TEM, se estima que el acuífero tendría en esta zona una extensión preliminar, de al menos 4 km de ancho por 8 km de largo, elongado en sentido norte-sur y acuñandose hacia el Norte. Se ha definido una unidad acuífera de una potencia media de 100 m; la base de esta unidad está definida como la zona saturada de alta salinidad, que se reconoce alrededor de los 150 m.

c) Niveles de Aguas Subterráneas

A partir de los antecedentes proporcionados por los expedientes, en conjunto con la cota de un afloramiento de agua obtenido por Google Earth, se construyeron las isopiezas que se presentan en la Figura 10.2-7.

En el Cuadro 10.2-5, se exhibe la información de los pozos, extraídas de los expedientes de la DGA, en particular se cuenta con la información de la ubicación en coordenadas UTM WGS 84, uso 19 Sur, cota del pozo, caudal otorgado en L/s de derechos otorgados, profundidad del nivel y la cota del nivel, con la que se construyeron las equipotenciales presentadas a continuación.

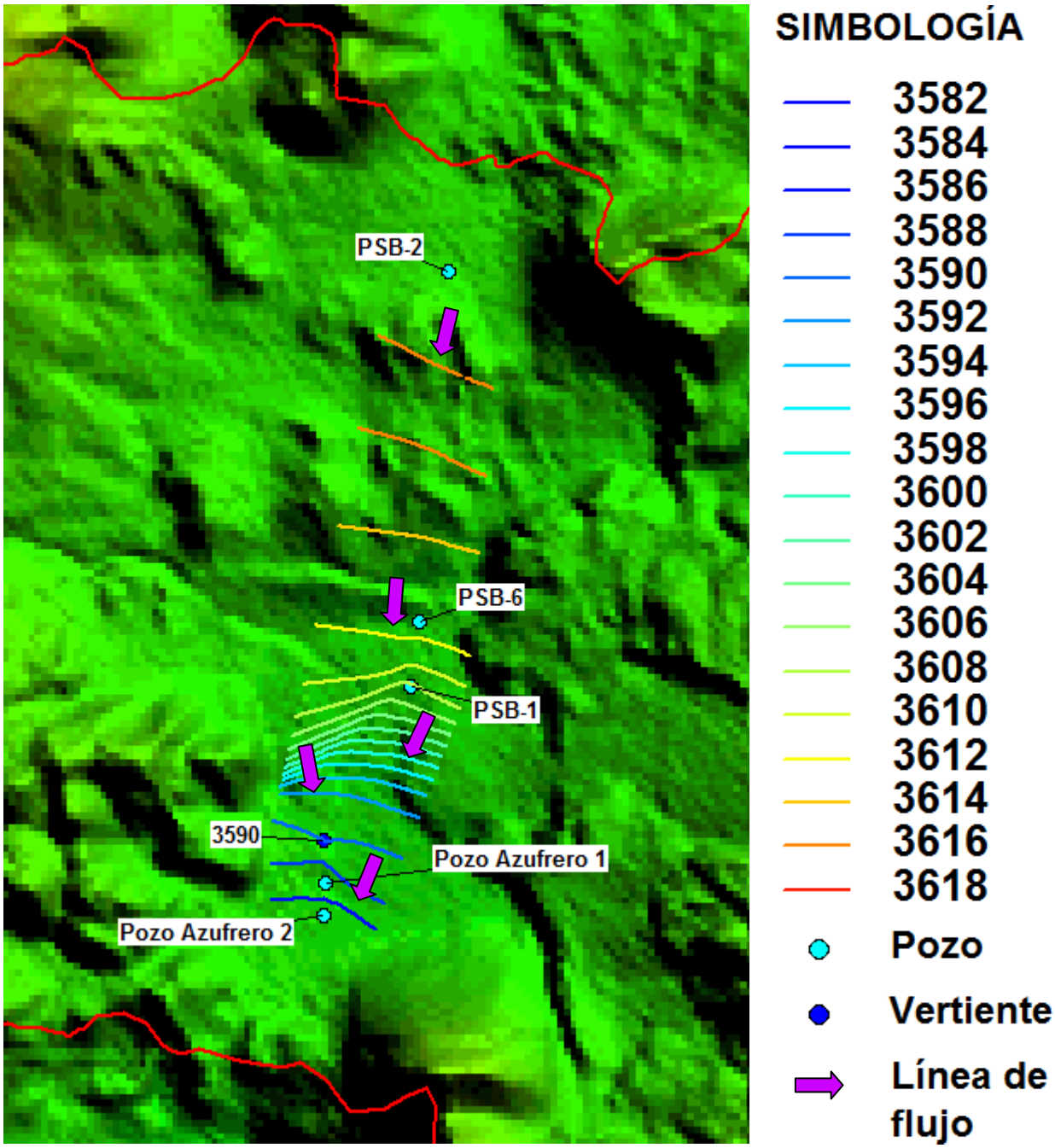
CUADRO 10.2-5
POZOS CON NIVELES EN LA CUENCA DEL SALAR DE LA AZUFRERA

Pozo	Norte (m)	Este (m)	Cota (m s.n.m.)	Caudal (L/s)	Nivel (m b.n.t.)	Cota nivel (m s.n.m.)
PSB-1	7.184.956	519.305	3.635	80	27,23	3.607,77
PSB-2	7.190.667	519.796	3.737	35	118,17	3.618,49
PSB-6	7.185.860	519.467	3.643	120	30,59	3.612,41
Pozo Azufrero 1	7.182.328	518.115	3.587	0.5	0,58	3.586,42
Pozo Azufrero 2	7.181.879	518.109	3.586	0.97	0,38	3.585,62

Se observa que las direcciones de flujo son en general Norte-Sur, con algunos aportes desde el este y del Oeste al llegar al llano Plato de Sopa, hasta llegar al salar de la Azufrera donde el agua aflora localmente en una pequeña laguna en la orilla occidental del salar.

De acuerdo a la estratigrafía de los pozos presentada previamente en la Figura 10.2-6 y al contrastarla con la posición de su nivel estático, se observa que el nivel en general se encuentra en sedimentos no consolidados o en límite entre los sedimentos y una secuencia de rocas andesíticas fracturadas, donde el regolito se vuelve más arcilloso por su disgregación y alteración.

FIGURA 10.2-7
PIEZOMETRÍA CUENCA DEL SALAR DE LA AZUFRERA.
CURVAS CADA 2 METROS



d) Constantes Elásticas

Los valores de las pruebas de bombeo practicadas en los pozos que tienen registro en los expedientes de derechos otorgados, se presentan en el Cuadro 10.2-6.

En el pozo PSB-6, se obtuvo una transmisividad del acuífero de 1.700 m^2/d por el método de Recuperación de Theis-Jacob, y un coeficiente de almacenamiento de 3,36 x 10^{-5}. Este valor de T es congruente con los antecedentes estratigráficos, que indican la presencia de una secuencia de gravas y gravillas, intercaladas con estratos más arenosos. Los valores de almacenamiento evidencian algún grado de confinamiento, por lo que el acuífero presentaría un carácter semi confinado.

Según las pruebas de bombeo desarrolladas en el pozo PSB-2, la transmisividad se estima entre 1.500 y 4.800 m^2/d, siendo el último valor el más factible debido a ser el obtenido con el método de recuperación de Theis-Jacob para la prueba de gasto constante, lo que prevalece como método de estimación de las constantes elásticas. En el caso del coeficiente de almacenamiento, al no existir datos de un pozo de observación, éste se estimo en 10^{-3} debido a la estratigrafía del sondaje, asignándole a este sector del acuífero un comportamiento semi confinado.

Para el pozo PSB-1 se observa que la transmisividad obtenida según el método de recuperación de Theis-Jacob para la prueba de gasto constante es de 1.940 m^2/d. Además de acuerdo a los antecedentes recolectados del acuífero presente en este sector y del registro estratigráfico del pozo se estima que el coeficiente de almacenamiento es del orden de 10^{-4}. Este valor es congruente con el sistema acuífero en niveles riolíticos modernos con distintos grados de fracturamiento (permeabilidad secundaria) y subyacen niveles o coladas andesíticas masivas, lo que implicaría la existencia de acuíferos de carácter semiconfinado a confinado.

No se presentan antecedentes de las propiedades hidráulicas en los Pozos Azufrero 1 y 2, debido a ser pozos de exiguo caudal y por pruebas de tanteo de escasa duración (60 min por el agotamiento de la columna de agua), obteniendo valores para el caudal sostenido que es posible extraer mediante los datos de la recuperación del pozo posterior al bombeo.

CUADRO 10.2-6
CONSTANTES ELÁSTICAS DEL SALAR DE LA AZUFRERA

Pozos	Transmisividad m2/d	Coeficiente de almacenamiento	Métodos T/S
PSB-1	1.940	1×10^{-4}	Theis-Jacob / Estimación
PSB-2	4.800	1×10^{-3}	Theis-Jacob / Estimación
PSB-6	1.700	$3{,}36 \times 10^{-5}$	Theis-Jacob / Neuman

e) Volúmenes Embalsados

En esta cuenca se cuenta con información de cinco pozos PSB-1, PSB-2, PSB-6, y los Pozos Azufrero 1 y 2, de los que se tiene el expediente presentado en la DGA. En ellos se describe en superficie una unidad acuífera de una potencia media de 55 m; la base de esta unidad está definida como la zona saturada de alta salinidad reconocida en los pozos perforados. En el pozos PSB-2 el sistema acuífero se aloja principalmente en gravas de permeabilidad primaria y en rocas volcánicas (tobas y lavas) con permeabilidad secundaria.

Así, en el pozo PSB-2 se reporta una unidad superior de alta resistencia que corresponde a depósitos sedimentarios, y en algunos sectores, secuencias volcánicas secas. La infrayace unos depósitos volcánicos medianamente a altamente fracturados con intercalaciones sedimentarias, en ésta zona es donde se encuentra el potencial acuífero. Esta unidad presenta zonas, especialmente en áreas ubicadas en el Sur del acuífero, de baja resistividad que representarían a depósitos fracturados saturados de agua salada. Subyaciendo los depósitos anteriores, se ubica una unidad de muy baja resistividad que correspondería a salmueras, las cuales limitarían en su techo la base del acuífero de mejor calidad expuesto previamente. Esta potencial unidad acuífera posee un espesor medio de 55 m según los sondajes y de 100 m según la geofísica, promediando así una potencia para el espesor del acuífero saturado de 78 m.

Según los antecedentes geofísicos del tipo TEM presentados en el expediente del pozo PSB-1, se estima que el acuífero tendría una superficie de 32 km^2, elongado en sentido norte-sur y acuñándose hacia el Norte.

El coeficiente de almacenamiento del acuífero se obtiene a través de las pruebas de bombeo practicadas en los pozos PSB-1, PSB-2 y PSB-6, donde sólo para este último pozo se tiene un valor calculado en su pozo de observación mientras que para los otros pozos se posee una estimación para el valor de S. El valor promedio obtenido en estos tres pozos corresponde a un S de 0,00038, valor que se condice

con un acuífero de carácter semi confinado a confinado. Los valores utilizados en el cálculo del volumen almacenado, igual a: 0,95 Mm^3, se presenta en el Cuadro 10.2-7.

TABLA 10.2-7
VOLUMEN DE AGUA EMBALSADA EN CUENCA SALAR DE LA AZUFRERA

Espesor saturado (m)	Superficie (m^2)	Coeficiente de Almacenamiento	Volumen Almacenado (m^3)	Sector
78	32.000.000	0,00038	948.480	Acuífero semiconfinado

Dentro de los trabajos propuestos en una etapa posterior, se recomienda realizar estudios tanto geofísicos TEM y NanoTEM, como la perforación de piezómetros de diámetros reducidos. En particular en esta cuenca, pero también extrapolable a todas las cuencas en estudio, es que se sugiere la investigación de los acuíferos presentes en rocas fracturadas/alteradas, cuyo conocimiento en gran parte de los acuíferos de la III Región es bastante acotado, por lo que gran parte de las prospecciones recomendadas apuntan en esa dirección.

De tal forma, se propone la perforación de 6 piezómetros, con profundidades que van desde los 100 a los 200 m de profundidad, en las zonas donde no haya información y existan afloramientos de las rocas donde están alojados los acuíferos semi confinados en rocas fracturadas.

Siguiendo la misma lógica se recomienda la medición de 8 estaciones geofísicas con el método TEM y 3 estaciones con el método NanoTEM, totalizando 11 estaciones geofísicas. Las características de las prospecciones se presentan en el Cuadro 10.2-8.

CUADRO 10.2-8
PIEZOMETROS Y GEOFÍSICA TEM Y NANOTEM PROPUESTA EN LA CUENCA DEL SALAR DE LA AZUFRERA

Piezómetros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Tipo	Profundidad (m)
SAZ1	520.431	7.187.080	Piezómetro	120
SAZ2	527.679	7.187.040	Piezómetro	200
SAZ3	521.250	7.178.158	Piezómetro	120
SAZ4	516.672	7.179.966	Piezómetro	120
SAZ5	520.422	7.181.732	Piezómetro	100
SAZ6	518.399	7.183.858	Piezómetro	150
TAZ1	520.162	7.186.971	TEM	300
TAZ2	522.335	7.183.259	TEM	300

Piezómetros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Tipo	Profundidad (m)
TAZ3	515.967	7.186.166	TEM	300
TAZ4	522.689	7.187.320	TEM	300
TAZ5	527.827	7.187.012	TEM	300
TAZ6	516.789	7.180.202	TEM	300
TAZ7	521.539	7.178.831	TEM	300
NTAZ8	519.999	7.181.671	NanoTEM	60
NTAZ9	518.056	7.181.138	NanoTEM	60
NTAZ10	518.398	7.183.793	NanoTEM	60
TAZ11	511.390	7.186.627	TEM	300

FIGURA 10.2-8
PROSPECCIONES PROPUESTAS EN CUENCA DEL SALAR DE LA AZUFRERA



10.2.3. Cuenca N° 34. Salar de Agua Amarga

a) Acuíferos

El salar de Agua Amarga se encuentra al extremo Norte de la Cordillera Andina de la tercera Región al Sur de los salares de Punta Negra y de Pajonales. Corresponde a una costra de yeso y de halita con "ojos" de agua al Norte y pequeñas lagunas superficiales mal definidas en las orillas este y Sur.

La cuenca se ubica a una altura promedio de 4.048 m.s.n.m. La superficie de la cuenca es de 458 km^2 y la superficie del salar y de las lagunas son de 23 km^2 y 0,04 km^2 respectivamente.

La cuenca hidrogeológica donde se emplaza el o los acuíferos, es de origen tectónico, caracterizada por un lineamiento NOO-SEE, que atraviesa el sector de Llano Blanco. La cuenca se encuentra rellena por sedimentos provenientes de la meteorización de las rocas del entorno (andesitas, tobas, rocas alteradas). También se reconocen unidades acuíferas de importancia en rocas donde asociado al fallamiento principal, se produce un fracturamiento secundario, con fallas de dirección E-O.

En este salar, sólo existe información de un pozo de bombeo, el CBB-16, y dos pozos de observación el CBX-16 y CBX-18, ubicados 40 y 1.000 m al Sur del pozo de bombeo, respectivamente. En los antecedentes, sólo aparece un detalle de la cuenca, pero con énfasis en la hidrogeoquímica, en la REF-7, Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II y III Regiones - Chile, DGA-UCN-IRD, 1999.

La ubicación de las características principales y de los pozos presentes en la cuenca se observan en la Figura 10.2-9.

La estratigrafía donde se ubican los pozos CBB-16 y CBX-16 consiste en una delgada secuencia de gravas y arenas polimícticas cuaternarias de origen volcánico, que se presenta desde la superficie hasta los 20 m de profundidad. La subyace una secuencia de intercalaciones de andesitas y tobas alteradas hidrotermalmente, en tramos con silicificación o caolinización sobre impuestas.

En el área cercana al pozo CBX-18, se acusa la presencia de un cuerpo granitoide, con variados grados de alteración, principalmente caolinización, desde roca fracturada medianamente fresca a horizontes arcillosos de protolito indiferenciado. Existe una delgada intercalación volcánica la que corresponde probablemente a un contacto producto de tectonismo. En esta área no hay evidencia de material sedimentario superficial. Las columnas estratigráficas de los 3 pozos se presentan en la Figura 10.2-10.

FIGURA 10.2-9
CUENCA Nº 34. SALAR DE AGUA AMARGA

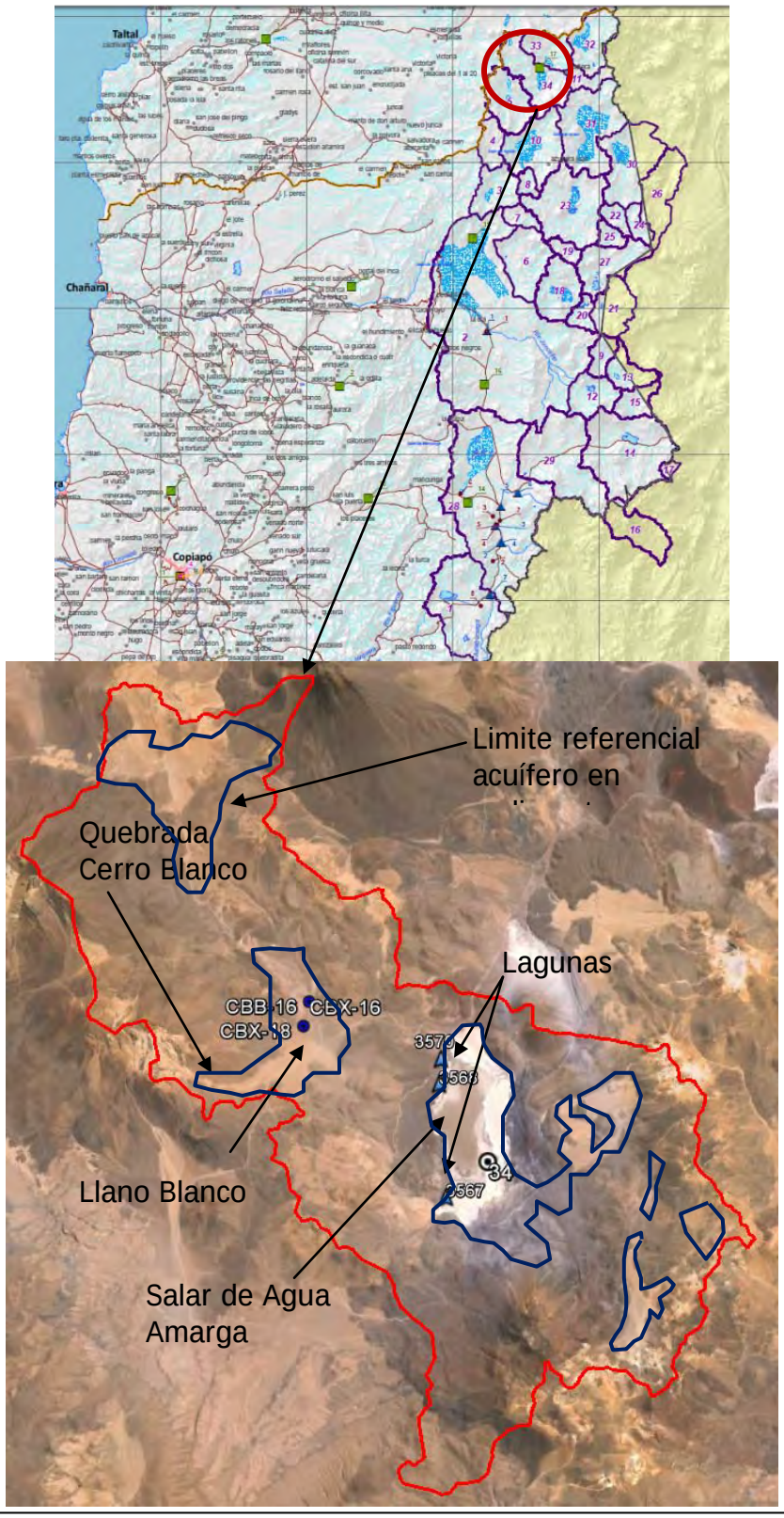
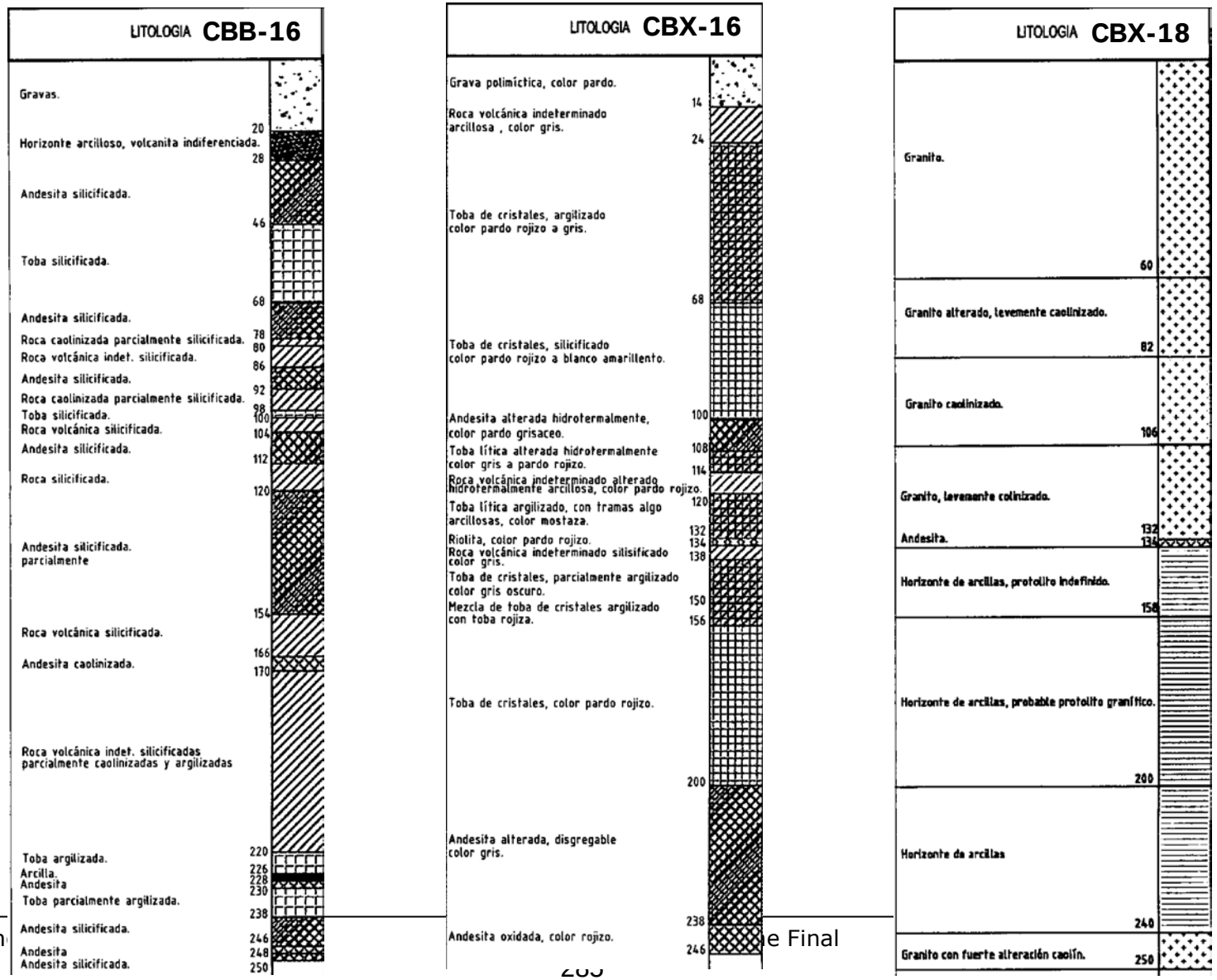


FIGURA 10.2-10
COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS DE LOS POZOS CBB-16, CBX-16 Y CBX-18

Norte **Sur**



b) Exploración Geofísica

En la cuenca del Salar de Agua Amarga sólo existe la información geofísica reportada en los anexos del expediente del pozo CBB-16 (ND-0301-767), donde se hace alusión a una campaña geofísica de medición de perfiles trazados mediante la técnica TEM, pero no se cuenta con la información de detalle de estos, como su traza, la cantidad y metros sondeados.

Para la zona se ha definido una unidad acuífera de una potencia media de 150 m; la base de esta unidad está identificada como la zona saturada de alta salinidad, que se reconoce en los pozos perforados y en la geofísica realizada. El nivel superior del acuífero corresponde al nivel de saturación, existiendo un grado de semi confinamiento a confinamiento.

De acuerdo a los datos de sondajes y la geofísica (TEM), se estima en forma preliminar que el acuífero tendría una extensión, de al menos 4 km de ancho por 8 km de largo, elongado en sentido este-oeste y acuñándose hacia el Oeste.

Según el perfilaje geofísico, se puede aseverar la existencia de varios acuíferos presentes en el área, todos ellos alojados en roca y pareciendo el más importante en términos de productividad, al acuífero inferior, ubicado entre los 207 y 225 m de profundidad. Los otros acuíferos detectados mediante geofísica, se encontrarán alojados entre los 57 y 81 m, los 96 y 106 m y los 122 y 131 m de profundidad.

c) Niveles de Aguas Subterráneas

En el Cuadro 10.2-9, se presentan los datos de los expedientes de los pozos, indicando la ubicación, cota, caudal otorgado, profundidad y cota del nivel estático.

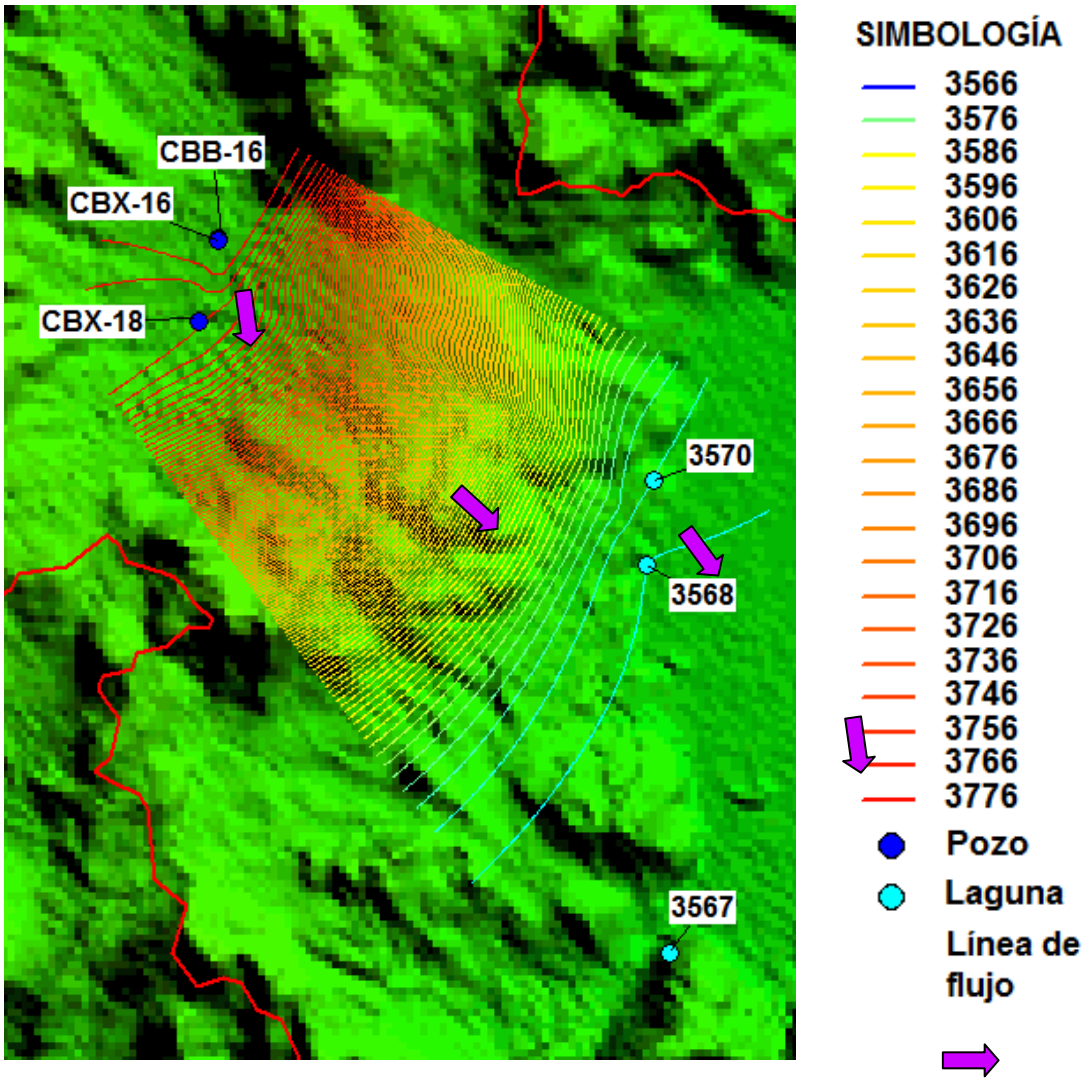
Dado que sólo se cuenta con 3 puntos de medida del nivel, se utilizó en la confección de las isopiezas, las cotas donde el agua aflora en 3 lagunas del occidente y del Sur en el Salar de Agua Amarga.

Se obtuvieron así las equipotenciales y las direcciones de flujo que indican una primera componente norte-sur que une los 3 pozos construidos, para luego torcer el flujo en dirección noroeste-sureste, para finalmente al llegar al salar, volver a la componente norte-sur del flujo subterráneo.

CUADRO 10.2-9
POZOS CON NIVELES EN LA CUENCA DEL SALAR DE LA AZUFRERA

Pozo	Norte (m)	Este (m)	Cota (m s.n.m.)	Caudal (L/s)	Nivel (m b.n.t.)	Cota nivel (m s.n.m.)
CBB 16	7.179.664	509.311	3.835	35	49,2	3.785,8
CBX 16	7.179.625	509.313	3.835	n/a	48,9	3.786,1
CBX 18	7.178.568	509.044	3.830	n/a	49,9	3.780,1

FIGURA 10.2-11
PIEZOMETRÍA CUENCA DEL SALAR DE AGUA AMARGA
CURVAS CADA 2 METROS



d) Constantes Elásticas

Las constantes elásticas del acuífero fueron determinadas a partir de la prueba de bombeo realizada en el pozo CBB-16, contando con la información en sus pozos de observación CBX-16 y CBX-18, que como se mencionó previamente se ubican a una distancia de 40 y 1.000 m respectivamente del pozo de bombeo.

La transmisividad obtenida mediante diversos métodos es del orden de 200 m^2/d y el coeficiente de almacenamiento es del orden de 10^{-3}. Valores congruentes con un sistema acuífero en depósitos volcánicos modernos que presentan distintos grados de fracturamiento. Así el acuífero es de carácter semi confinado a confinado.

La variabilidad de las transmisividades de un pozo a otro, se debe a la diferencia en el emplazamiento del acuífero (sedimento y/o roca), heterogeneidad del fracturamiento de la roca, proporción de disolución de algunos minerales que producen porosidad secundaria, grado de compactación de la roca, grado de comunicación entre los poros y a la presencia de niveles sedimentarios intercalados entre las lavas.

Se presenta en el Cuadro 10.2-10 los valores obtenidos para la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento en los pozos de la cuenca. Se observa además el método con el cual se obtuvo el valor que resulta más representativo.

Debido a que los acuíferos se encuentran alojados en depósitos volcánicos modernos fracturados o con permeabilidad secundara, el método que mejor permitiría estimar los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento es el de Moench para flujos en rocas fracturadas.

CUADRO 10.2-10
CONSTANTES ELÁSTICAS DE LA CUENCA DEL SALAR DE AGUA AMARGA

Pozos	Transmisividad m^2/d	Coeficiente de almacenamiento	Métodos T/S
CBB-16	87	n/a	Theis-Jacob
CBX-16	114	3,83 X 10^{-3}	Theis-Jacob /Cooper Jacob
CBX-18	480	1,07 x 10^{-3}	Moench

Dada la incerteza que provocan los análisis realizados sobre el pozo CBX-18, considerando que el acuífero en este sector se encuentra en roca fracturada, se realizó un cálculo de transmisividad basado en el método clásico de Thiem, que relaciona los descensos y las distancias respectivas de un grupo de pozos a un pozo de bombeo. Por otro lado, si tomamos en cuenta la distancia entre el pozo CBX-18 y el de bombeo, y su muy probable comunicación estructural, los valores de

transmisividad obtenidos con los métodos convencionales sobre este pozo, seguramente están un poco sobredimensionados.

e) Volúmenes Embalsados

En esta cuenca sólo se tiene información de los expedientes de la DGA de un pozo de bombeo, el CBB-16, y dos pozos de observación el CBX-16 y CBX-18, ubicados a 40 y 1.000 m al Sur del pozo de bombeo, respectivamente. La estratigrafía observada en los pozos corresponde a una delgada capa en superficie de gravas y arenas polimícticas, las que se encuentran secas, desde la superficie hasta los 20 m de profundidad. La subyace una secuencia de intercalaciones de andesitas y tobas alteradas hidrotermalmente, en tramos con silicificación o caolinización sobre impuestas.

De acuerdo a la geofísica TEM reportada en los expedientes, se indica la presencia, en forma preliminar, de un acuífero con una extensión, de al menos 4 km de ancho por 8 km de largo, elongado en sentido este-oeste y acuñándose hacia el Oeste. Además se puede aseverar la existencia de varios acuíferos presentes en el área, todos ellos alojados en roca y pareciendo el más importante en términos de productividad, al acuífero inferior, ubicado entre los 207 y 225 m de profundidad. Los otros acuíferos detectados mediante geofísica, se encuentran alojados entre los 57 y 81 m, los 96 y 106 m y los 122 y 131 m de profundidad. Se asigna entonces un espesor del acuífero presente en rocas de 150 m.

El coeficiente de almacenamiento corresponde al obtenido en la prueba de bombeo del pozo CBB-16, a partir de los valores registrados en sus pozos de observación CBX-16 y CBX-18. De esta forma, el valor promedio del coeficiente de almacenamiento corresponde a 0,0025, lo que se condice con un acuífero de carácter semi confinado a confinado alojado en depósitos volcánicos fracturados/alterados.

El volumen almacenado resultante al incorporar estas variables es de: 12 Mm^3. Un resumen de los valores utilizados se presentan en el Cuadro 10.2-11.

CUADRO 10.1-11
VOLUMEN DE AGUA EMBALSADA EN CUENCA SALAR DE AGUA AMARGA

Espesor saturado (m)	Superficie (m^2)	Coeficiente de Almacenamiento	Volumen Almacenado (m^3)	Sector
150	32.000.000	0,0025	12.000.000	Acuífero semiconfinado

Debido a la escasa información disponible en esta cuenca (sólo un pozo de bombeo con 2 pozos de observación), es que se propone la perforación de sondajes de diámetro reducido y de geofísica del tipo TEM y NanoTEM. Así como en las otras cuencas, los objetivos de estas prospecciones apuntan hacia un mejor entendimiento de los acuíferos alojados en rocas fracturadas/alteradas, tanto en su distribución areal como en su profundidad y espesor.

En particular se recomienda la perforación de 6 piezómetros con profundidades que van desde los 100 a los 180 m. Los de menor metraje se posicionan cercanos al Salar del Agua Amarga, donde se busca conocer las direcciones de flujo que alimentan las lagunas presentes en el salar. Mientras que los sondajes más profundos se distribuyen en los límites de la cuenca y en zonas donde se encuentra en superficie afloramientos de rocas fracturadas (como en intersecciones de quebradas).

Las estaciones geofísicas del tipo TEM propuestas consisten en 4 estaciones, mientras que los estaciones del tipo NanoTEM ascienden a 7, totalizando así 11 estaciones geofísicas propuestas para ésta cuenca Estos métodos apuntan a ser una primera aproximación de la posición del nivel estático y de las zonas de rocas fracturadas/alteradas, que se puedan correlacionar con el acuífero alumbrado en los pozos CBB y CBX.

Las características de las prospecciones propuestas se presentan a continuación en el Cuadro 10.2-12, mientras que la ubicación de éstas se observan en la Figura 10.2-12.

CUADRO 10.2-12
PIEZÓMETROS Y GEOFÍSICA TEM Y NANOTEM PROPUESTA EN LA CUENCA DEL SALAR DE AGUA AMARGA

Piezómetros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Tipo	Profundidad (m)
SAA1	516.529	7.178.856	Piezómetro	100
SAA2	513.202	7.168.652	Piezómetro	120
SAA3	507.064	7.175.962	Piezómetro	180
SAA4	503.549	7.189.946	Piezómetro	180
SAA5	513.330	7.174.624	Piezómetro	100
SAA6	519.550	7.171.177	Piezómetro	160
TAA1	518.924	7.170.419	TEM	300
TAA2	507.606	7.176.419	TEM	300
TAA3	521.306	7.177.943	TEM	300
TAA4	503.294	7.190.434	TEM	300
NTAA5	503.099	7.190.043	NanoTEM	60
NTAA6	504.411	7.184.191	NanoTEM	60

Piezómetros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Tipo	Profundidad (m)
NTAA7	509.792	7.178.467	NanoTEM	60
NTAA8	513.307	7.178.577	NanoTEM	60
NTAA9	513.703	7.175.511	NanoTEM	60
NTA10	513.043	7.168.224	NanoTEM	60
NTA11	514.595	7.166.797	NanoTEM	60

FIGURA 10.2-12
PROSPECCIONES PROPUESTAS EN CUENCA SALAR DE AGUA AMARGA



10.2.4. Cuenca N° 6. La Laguna

a) Acuíferos

Esta cuenca posee una superficie aproximada de 457 km^2 y una cota media de 4.203 msnm. Se encuentra al noreste de la cuenca del Salar de Pedernales, y en diversos estudios la incluyen dentro de esta como una subcuenca. El acuífero principal en esta cuenca se sitúa en el Llano de la Vega Helada, se caracteriza por poseer unas dimensiones de a lo menos 25 km de largo por 12 km de ancho. Ha sido estudiada por EDRA (1999a) mediante sondajes y perfiles TEM. Esta depresión posee un relleno aluvial de granulometría media a gruesa, con algunos niveles de toba intercalados entre los que no se reconoce continuidad lateral, lo que se podría atribuir a juegos de fallas. El espesor de estos flujos piroclásticos varía entre 10 y 80 m. Constituye en general un depósito de buen potencial acuífero, su permeabilidad favorece la infiltración del agua. El nivel freático se reconoce a 50 – 100 m de profundidad.

Considerando la información geológica y los antecedentes geofísicos, se han diferenciado dos unidades principales, Unidad Impermeable y Unidad Permeable. En la Unidad Impermeable, los afloramientos de rocas correspondientes a Basamento Impermeable, se ubican en el borde occidental de la cuenca hidrogeológica, constituyendo los cerros Punta Amarilla, Pampa y Cerrillos. Se incluyen además los numerosos cuellos volcánicos, que presentan formas tabulares de pequeño diámetro, cuyas edades van desde el Mioceno Inferior al Plioceno Superior.

El carácter masivo de estas rocas permite clasificarlas como impermeables, excepto en las zonas meteorizadas y en las zonas falladas y fracturadas, a través de las cuales, es posible la circulación de agua. En la Unidad Permeable se agrupan los depósitos sedimentarios clásticos del relleno, que cubren parte de los sectores centrales del área de estudio y además se encuentran intercalados con diferentes unidades de rocas volcánicas. Se presentan no consolidados a semi compactados y ocurren con distintos grados de selección.

Existen 6 pozos de bombeo presentes en la cuenca (PB-14, SPB-7, SPB-8, SPB-10. SPB-13 y SPB-14), y 6 pozos de observación (SPX-7, SPX-8, SPX-9, SPX-10, SPX-13 y SPX-14). La ubicación de estos sondajes, y los nombres de los principales sectores presentes en la cuenca se observan en la Figura 10.2-12.

En el Llano de la Vega Helada, predominan los depósitos de arena media, gruesa y gravilla. En el pozo SPB-16, a los 266 m de profundidad se reconocen tobas de poco espesor. Los últimos 80 m del sondaje SPB-14 consisten en una toba de cristales. Hacia el Norte del llano, se diferencia entre los depósitos clásticos el pozo SPB-8, por sus numerosas intercalaciones de toba, la primera se ubica a los 32 m y posee delgadas capas de grava fina, luego se reconocen tobas de ceniza a los 74 m y a los

210 m. A los 36 m del SPB-10 hay una intercalación de toba de ceniza con pómez y a los 104 m una toba de cristales silicificada y fracturada (30 m).

Se observa a continuación en la Figura 10.2-13, el mapa hidrogeológico desarrollado por el SERNAGEOMIN, 2005, donde se aprecian las unidades hidrogeológicas en superficie, además de la información hidrogeológica relevante.

FIGURA 10.2-12
CUENCA Nº 6. LA LAGUNA

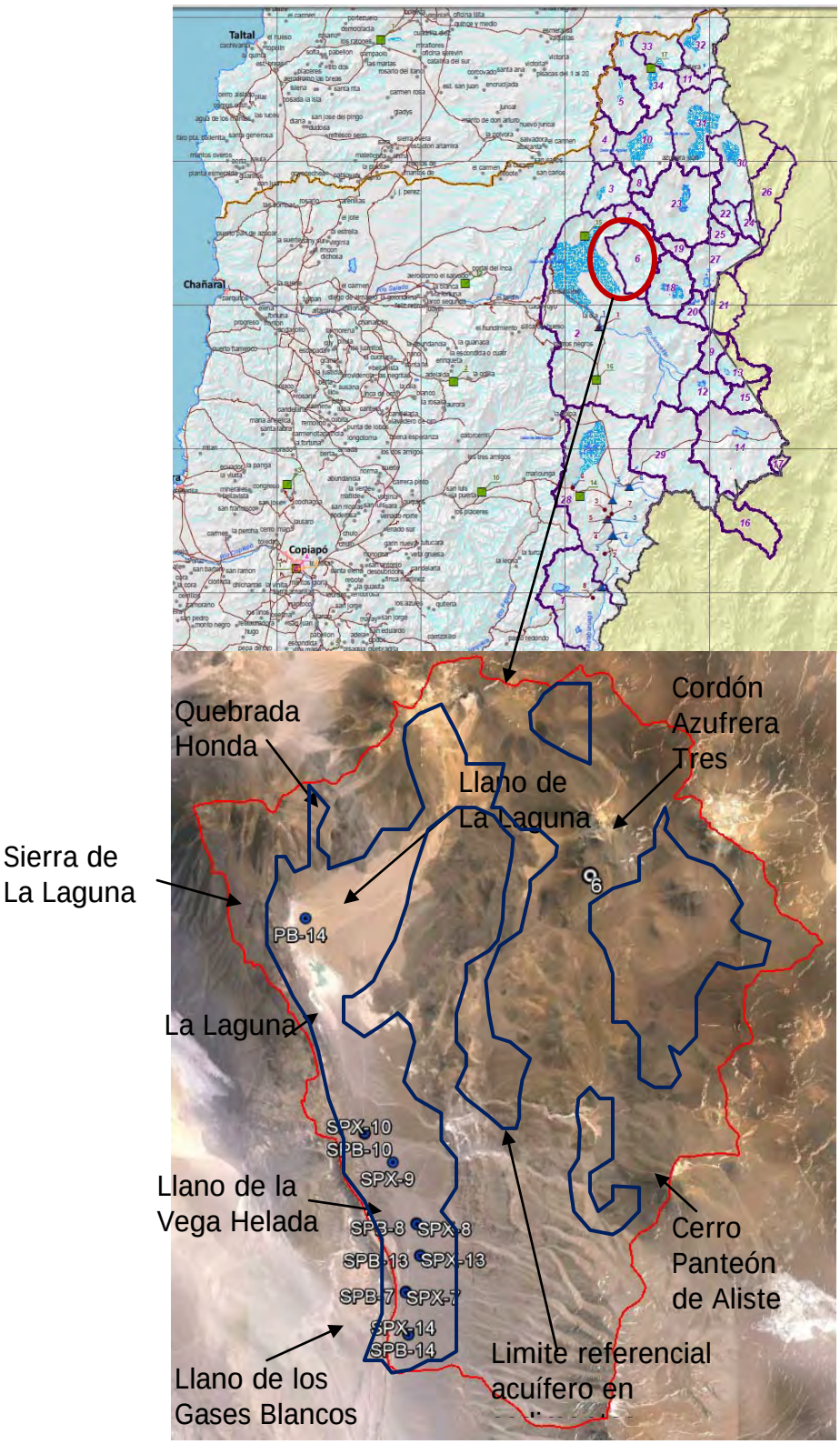
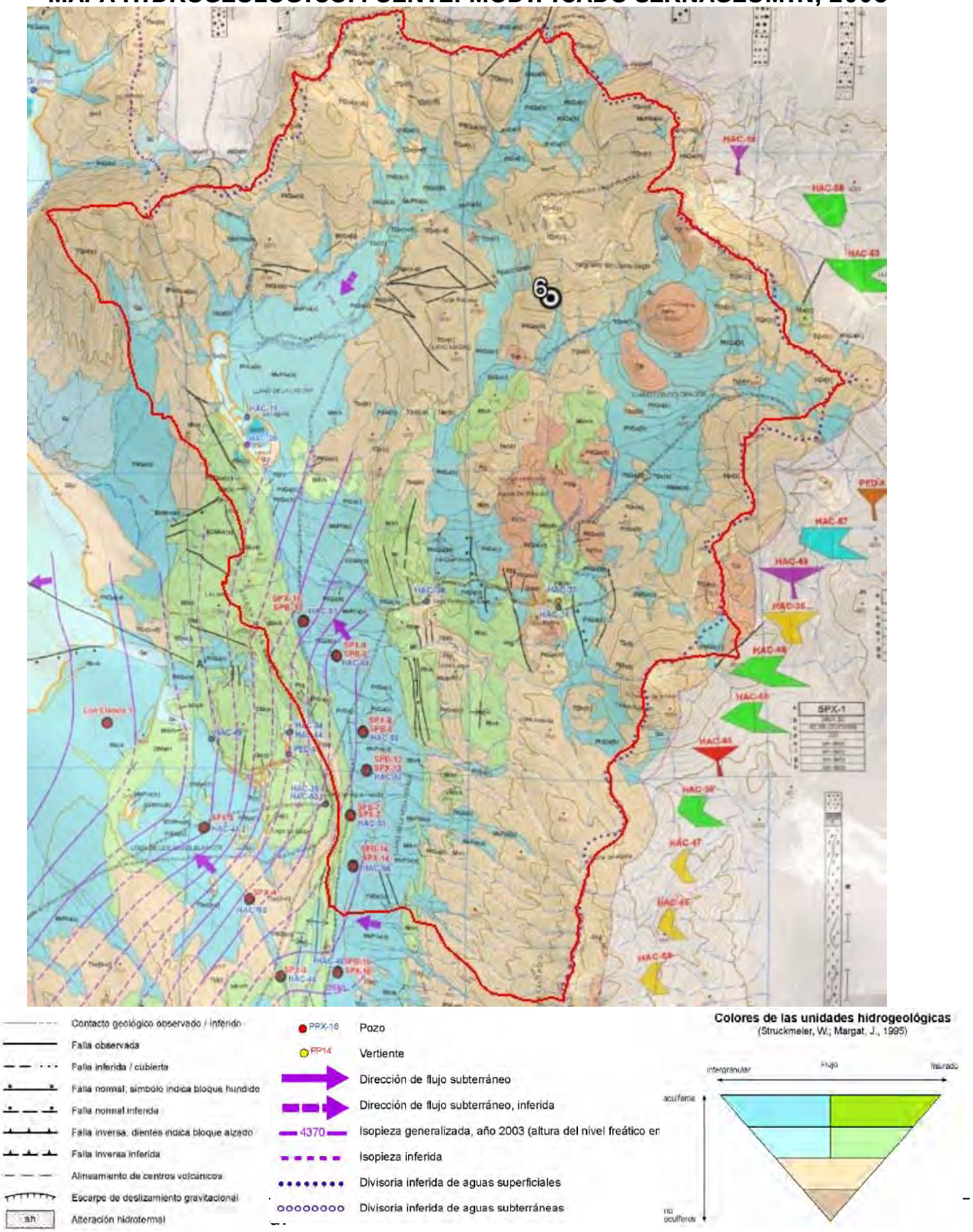


FIGURA 10.2-13
MAPA HIDROGEOLÓGICO. FUENTE: MODIFICADO SERNAGEOMIN, 2005



b) Exploración Geofísica

En esta cuenca se tiene cuenta de estudios geofísicos del tipo gravimétrico, desarrollados en SERNAGEOMIN, 2005, pero que, al ser el anterior un estudio enfocado a toda la cuenca del Salar de Pedernales, incluyendo las subcuencas adyacentes, es que abarcan un escaso sector de la cuenca La Laguna (sólo el limite suroccidental de 2 perfiles). La ubicación de estos se presenta en la Figura 10.2-14.

Se cuenta además con la información e interpretación de algunos perfiles TEM, realizados por EDRA, 1999, y que se encuentran reportados en los expedientes de derechos de aprovechamiento obtenidos en la DGA.

Según lo anterior se desprende que la unidad acuífera principal, compuesta por sedimentos no consolidados con intercalaciones de flujos piroclásticos (tobas), alcanzaría sus máximas profundidades al Sur del Llano de la Vega Helada, pues hacia el Norte, entre los pozos SPB-16 y SPB-14, en profundidad se produce un cambio de resistividad que es interpretado en EDRA (1999a) como un cambio lateral de facies a sedimentos finos y/o arcilla. Sin embargo, según la estratigrafía de los pozos SPB-8 y SPB-10 en el sector Norte existen abundantes intercalaciones de tobas, que coinciden con un cambio en los valores de anomalía gravimétrica. A pesar de esto, no se conoce el espesor del relleno, porque no se ha llegado al basamento en los sondajes realizados.

Las interpretaciones geofísicas abarcan amplios rangos de profundidad y discrepan entre ellas. Los valores de la anomalía gravimétrica señalan que el relleno volcanosedimentario tendría 186–306 m de espesor, mientras que la reinterpretación de los TEM señala un rango general de 750–1.500 m de profundidad para la roca basal (Aguirre, 2003).

Adicionalmente, en esta cuenca como parte de los trabajos de terreno complementarios en este estudio, se midieron en terreno 3 estaciones TEM (7, 8 y 9). En el Anexo 10-1 se incluye en detalle el trabajo efectuado por la empresa Geodatos.

Las unidades resistivas definidas por Geodatos corresponden a:

- **Unidad Alta Resistividad**: Esta unidad se presenta en las tres estaciones con potencia de aproximadamente 40 metros. Las resistividades son altas, superando los 104 [Ohm-m]. Esta unidad pudiera interpretarse como Depósitos Aluviales Secos.

- **Unidad Media – Alta Resistividad:** Este dominio presenta resistividades del orden de los 1000 [Ohm-m] y se extiende hasta cerca de los 80 metros de profundidad. Es posible asociarla a Sedimentos Secos de menor granulometría y/o Rocas Volcánicas.

- **Unidad Media - Baja Resistividad:** Esta unidad es comparativamente menos resistiva que la unidad descrita anteriormente, manifestándose con valores del orden de 100 [Ohm-m]. Se extiende desde los 80 metros en la estación 8 y a partir de los 70-80 metros en las restantes estaciones (7 y 9). Esta unidad pudiera corresponder a Depósitos clásticos consolidados y/o rocas volcánicas con algún nivel de fracturamiento/alteración.

- **Unidad Baja Resistividad:** Esta unidad es conductora en relación a las anteriores, presentando resistividades del orden de los 10 [Ohm-m]. Las potencias varían ampliamente, con espesores comprendidos entre 140 metros (estación 7), 30 metros (estación 8) y 100 metros (sondeo 9). Esta unidad pudiera asociarse a la presencia de un acuífero claramente en el caso del sondeo 8, lo que podría estar constituido por Rocas Volcánicas Fracturadas /Alteradas y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados.

- **Unidad de Media-Baja Resistividad:** Este dominio se aprecia en las estaciones 7 y 8, a una profundidad de 230 metros y cerca de 120 metros, respectivamente. Se observa con resistividades del orden de los 40 y 80 [Ohm-m] en dichos sondeos. Este incremento de la resistividad pudiera asociarse a cambios en la permeabilidad de la Roca Basal de origen volcánico y/o sedimentos de grano grueso consolidados húmedos/saturados.

La ubicación de 2 de las 3 estaciones TEM medidas en la cuenca La Laguna se encuentran en zonas donde no existía información geofísica (estaciones 7 y 8), mientras que la estación 9 se encuentra aledaña a un perfil gravimétrico del SERNAGEOMIN, 2005 y rodeada por 3 perfiles TEM de EDRA,1999.

La estación 7, ubicada al noreste de La Laguna, desde su superficie, aproximadamente presenta 30 m de depósitos aluviales secos, seguidos por 50 m de sedimentos secos de menor granulometría y/o rocas volcánicas, le siguen 100 m de depósitos clásticos consolidados y/o rocas volcánicas con algún nivel de fracturamiento/alteración, luego se observan 160 m de rocas volcánicas alteradas/fracturadas y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados para finalmente alcanzar el basamento de origen volcánico de menor permeabilidad a los 340 m de profundidad, alcanzando un espesor de al menos 60 m.

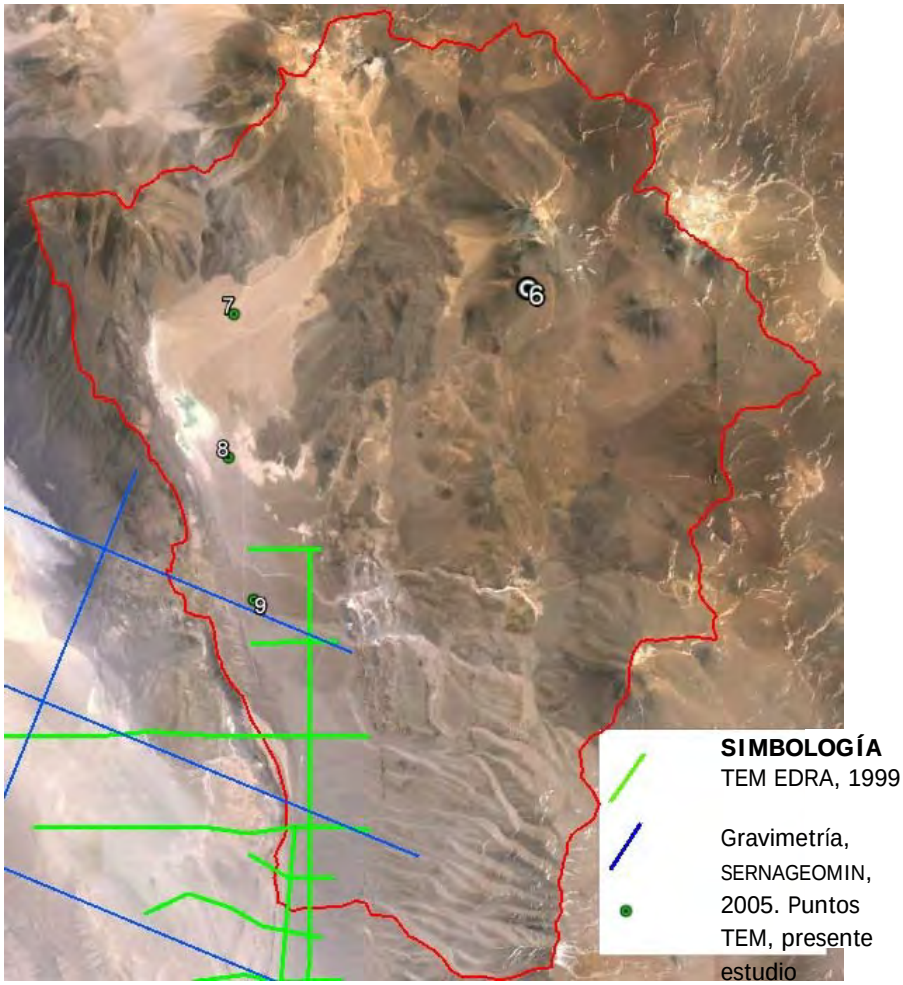
En la estación 8, ubicada al sureste de La Laguna se observa de su techo a base aproximadamente 40 m de depósitos aluviales secos, seguidos por 30 m de sedimentos secos de menor granulometría y/o rocas volcánicas, le siguen 20 m de depósitos clásticos consolidados y/o rocas volcánicas con algún nivel de fracturamiento/alteración, luego se observan 20 m de rocas volcánicas alteradas/fracturadas y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados para

finalmente alcanzar el basamento de origen volcánico de menor permeabilidad a los 110 m de profundidad, alcanzando un espesor de al menos 290 m.

Finalmente la estación 9, presenta desde la superficie, aproximadamente 40 m de depósitos aluviales secos, seguidos por 40 m de sedimentos secos de menor granulometría y/o rocas volcánicas, le siguen 40 m de depósitos clásticos consolidados y/o rocas volcánicas con algún nivel de fracturamiento/alteración, finalmente desde los 120 m b.n.s. se observan 280 m de rocas volcánicas alteradas/fracturadas y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados hasta la base de la estación TEM.

De la descripción anterior se observan dominios diferentes para cada estación TEM, uno al Sur donde se observa en la estación 9, una potencia considerable de la unidad de sedimentos y/o rocas que pueden presentar humedad y/o saturación, sin lograr alcanzar el basamento impermeable. La representada por la estación 8 donde se observa la predominancia en el registro de la unidad Basamento impermeable y una unidad de sedimentos y/o rocas con humedad/saturación de escasa potencia. Y lo observado en la estación 7 donde a diferencia de las otras se observa la unidad de depósitos clásticos consolidados con mayor espesor.

FIGURA 10.2-14
MAPA DE UBICACIÓN GEOFÍSICA DISPONIBLE, CUENCA LA LAGUNA



c) Niveles de Aguas Subterráneas

Se presentan las isopiezas y direcciones de flujo generadas en el estudio del SERNAGEOMIN, 2005, las que se observan en detalle en la Figura 10.2-15. Las características de los pozos como su ubicación, cota del pozo, la fecha, profundidad y cota del nivel estático se presentan a continuación en el Cuadro 10.2-13 (no se utilizó el pozo PB-14 por su fecha distinta a la de los demás).

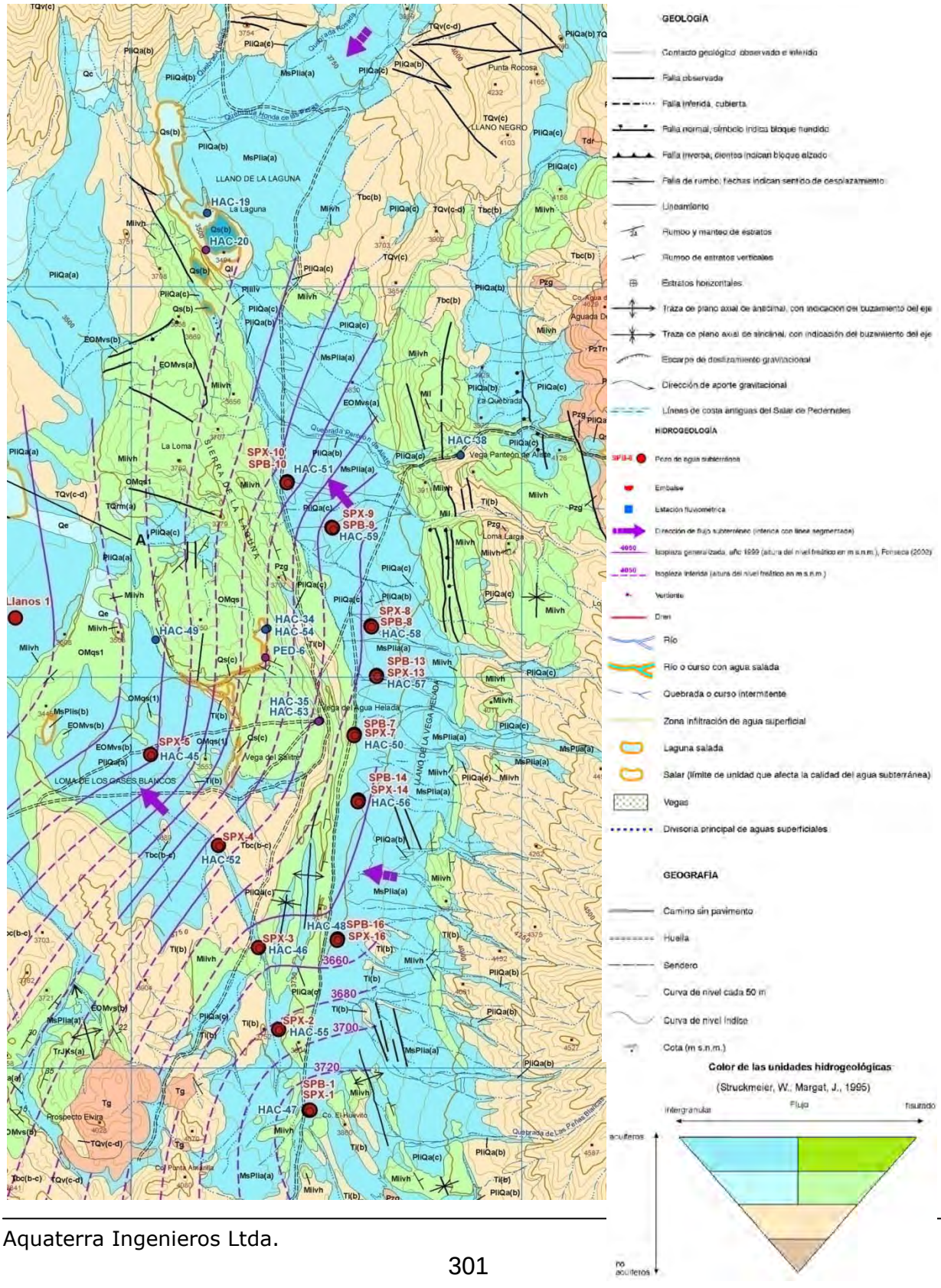
CUADRO 10.2-13
POZOS CON NIVELES EN LA CUENCA LA LAGUNA

Nombre pozo	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Cota terreno (m s.n.m)	Fecha	NE (m b.n.t.)	Cota NE (m s.n.m)
PB-14	501.323	7.103.426	3.520,80	nov-02	23,83	3.496,97
SPB-10	503.816	7.094.643	3.622,10	mar-99	69,20	3.552,90
SPB-13	506.115	7.089.625	3.714,30	mar-99	87,32	3.626,98
SPB-14	505.635	7.086.479	3.734,70	mar-99	99,81	3.634,89
SPB-7	505.532	7.088.175	3.706,20	mar-99	77,03	3.629,17
SPB-8	505.954	7.090.954	3.713,80	mar-99	89,59	3.624,21
SPX-10	503.801	7.094.605	3.621,60	mar-99	70,12	3.551,48
SPX-13	506.113	7.089.650	3.714,60	mar-99	87,35	3.627,25
SPX-14	505.645	7.086.415	3.735,10	mar-99	99,89	3.635,21
SPX-7	505.526	7.088.132	3.705,60	mar-99	76,79	3.628,81
SPX-8	505.970	7.090.916	3.715,10	mar-99	90,96	3.624,14
SPX-9	504.975	7.093.441	3.668,90	mar-99	57,95	3.610,95

De la Figura 10.2-15 se destaca que la dirección de flujo en el sector donde existen pozos en la cuenca La Laguna es variable, pero que posee una componente principal este-oeste. Así en el Llano de la Laguna, el aporte de aguas subterráneas proviene desde el noreste hacia el sureste, mientras que en el sector de la Quebrada Panteón de Aliste, la dirección del flujo es sureste-noroeste. Más al Sur, en la mayoría de la superficie del Llano de la Vega Helada, hasta el límite Sur de la cuenca, la dirección principal del flujo es este-oeste.

Una de las características relevantes que se observan en el trazado de las isopiezas, es la comunicación que se evidencia entre las cuencas de La Laguna y del Salar de Pedernales, las que hidrológicamente están separadas por la Sierra de la Laguna pero que según las equipotenciales generalizadas e inferidas, existe una conexión hidrogeológica entre ambas cuencas. Adicionalmente, según el estudio de EDRA, 1999, "Relación entre el sector la Laguna y el llano de la Vega Helada", indica que ambos sectores no se relacionarían debido a la dirección de las líneas de flujo del escurrimiento superficial expuestos previamente. Además, la cuenca que drena hacia La Laguna, tiene un respaldo hidrológico propio 3 veces superior a la descarga que se estima por evaporación, lo cual sugiere un flujo subterráneo bajo La Laguna, hacia el Oeste, en dirección al Salar de Pedernales.

FIGURA 10.2-15
PIEZOMETRÍA SOBRE MAPA HIDROGEOLÓGICO.
FUENTE: MODIFICADO SERNAGEOMIN, 2005



d) Constantes Elásticas

Los valores de constantes elásticas presentadas en los expedientes de derechos de aprovechamiento solicitados por Placer Dome Latin America y desarrollados por EDRA S.A. se presentan en el Cuadro 10.2-14.

CUADRO 10.2-14
CONSTANTES ELÁSTICAS DE LA CUENCA LA LAGUNA

Pozos	Transmisividad m^2/d	Coeficiente de almacenamiento	Métodos T/S
SPB-10	115	n/a	Theis-Jacob
SPB-13	2.100	n/a	Theis-Jacob
SPB-14	1.720	n/a	Theis-Jacob
SPB-7	194	n/a	Theis-Jacob
SPB-8	796	n/a	Theis-Jacob
SPX-10	70,7	3×10^{-4}	Theis-Jacob / Neuman
SPX-13	2.400	$5{,}24 \times 10^{-5}$	Theis-Jacob / Neuman
SPX-14	4.720	5×10^{-4}	Theis-Jacob / Neuman
SPX-7	437	$1{,}1 \times 10^{-4}$	Theis-Jacob / Neuman
SPX-8	953	2×10^{-5}	Theis-Jacob / Theis

Las pruebas de bombeo permitieron determinar las constantes elásticas del acuífero, que posee una transmisividad que fluctúa entre los 70 y los 4.700 m^2/d, encontrándose gran parte de los pozos construidos en zonas de valores de T sobre 1.000 m^2/d. Por otra parte, el coeficiente de almacenamiento varía entre $1{,}1 \times 10^{-4}$ y $5{,}24 \times 10^{-5}$, lo cual concuerda con los datos estratigráficos que señalan un acuífero confinado a semi-confinado y corroboran el comportamiento mixto del sistema.

En el pozo de bombeo SPB-10 y su pozo de observación SPX-10, se reconoce un acuífero ubicado en un material permeable detrítico y tobáceo, cuyo espesor alcanza más de 200 m. Este acuífero es de carácter semi-confinado a libre y presenta una transmisividad media en un rango entre 50 y 100 m^2/d. El coeficiente de almacenamiento alcanza a $2{,}5 \times 10^{-4}$.

En el par de pozos SPB-8 y SPX-8, los datos obtenidos de las pruebas de bombeo, permiten aseverar que los acuíferos que se emplazan en los niveles permeables entre los 112 y 286 m de profundidad, son de carácter semi confinado a confinado, obteniendo valores de transmisividad entre 800 a 2.000 m^2/d y un coeficiente de almacenamiento de 2×10^{-5}.

Con respecto a la pareja de pozos SPB-13 y SPX-13, se reconoce que ambos fueron perforados en una secuencia clástica de origen volcánico y sedimentario,

mayoritariamente gravas con pocos finos. Así se concluye que los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento varían entre 2.000 y 2.400 m^2/d para el primero y del orden de 10^{-5}, para el segundo, lo que concuerda con el carácter confinado a semi-confinado asignado para el acuífero.

Los pozos SPB-7 y SPX-7, fueron perforados y habilitados en una secuencia clástica de origen volcánico y sedimentario, mayoritariamente gravilla con arena y arena gruesa en alternancia de capas de espesores variables entre 6 y 120 m. Los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento varían entre 200 y 400 m^2/d para el primero y del orden de 10^{-4} para el segundo, lo que corrobora el carácter de semi-confinado, que puede ser atribuido a una o varias capas delgadas de material fino, las que no fue posible detectar con el método de perforación.

Finalmente para los pozos SPB-14 y SPX-14 se advierte que la estratigrafía corresponde a una secuencia de origen sedimentario, conformada por una alternancia de arenas gruesas con gravas hasta los 220 m aprox. Le subyace un estrato de toba de cristales reconocida hasta el fondo de ambos sondajes, lo que implica que el espesor sería superior a 80 m. De acuerdo a estas características se puede afirmar que los niveles permeables de la columna constituirían acuíferos de tipo semi-confinado. Sobre la base de los resultados presentados en el expediente, se puede aseverar que la transmisividad de los acuíferos presumiblemente varíe en un rango entre 1.500 y 3.000 m^2/d, mientras que el valor del coeficiente de almacenamiento calculado (5,5 x 10^{-4}) coincide muy bien con el carácter semi confinado del acuífero.

e) Volúmenes Embalsados

Según el estudio de EDRA, 1999, el modelo hidrogeológico conceptual se representa como una cubeta de 25 km de ancho por 75 km de largo, insertada en el Altiplano, que se ha rellenado fundamentalmente con material volcánico y sedimentario, que ha experimentado un leve basculamiento hacia el Oeste. Para efectos de la evaluación de este estudio, y manteniendo un criterio conservador, se considerará solamente una superficie, directamente relacionada con el campo de pozos que se encuentran en el sector del Llano de Vega Helada, de 4 km de ancho por 21 km de largo.

Dentro del sistema acuífero existen barreras hidrogeológicas locales, representadas por cuellos volcánicos, cuerpos intrusivos menores y rocas plegadas sin fracturamiento. Po otra parte, por el hecho de que la mayor parte del material acuífero corresponde a rocas con intercalaciones de material sedimentario, se ha desarrollado un sistema multiacuíferos, en que muchos de ellos se presentan confinados a semi confinados, existiendo también acuíferos libres. Sin embargo, a pesar de todas estas condiciones que caracterizan el acuífero en estudio, se puede decir que a nivel regional, se trata de un solo sistema acuífero de dimensiones significativas, tanto en sentido vertical como horizontal.

De acuerdo a la información de pozos y la geofísica de TEM y gravimétrica presente en esta cuenca, se ha definido un espesor saturado de 350 m. Además según las pruebas de bombeo practicas en los pozos de la cuenca, se obtuvo un valor de coeficiente de almacenamiento promedio de 2 x 10^{-4}.

Se obtiene así un volumen almacenado de 5,88 Mm^3 de recurso hídrico almacenado en el sistema multiacuíferos. Los antecedentes utilizados para obtener éste valor se resumen en la Cuadro 10.2-15.

CUADRO 10.2-15
VOLUMEN DE AGUA EMBALSADA EN CUENCA LA LAGUNA

Espesor saturado (m)	Superficie (m^2)	Coeficiente de Almacenamiento	Volumen Almacenado (m^3)	Sector
350	84.000.000	0,0002	5.880.000	Multiacuíferos

Para un mayor conocimiento de los acuíferos presentes en esta cuenca se recomienda la realización de una campaña geofísica TEM y NanoTEM en conjunto con la perforación de piezómetros de radio reducido, que permitan un mayor conocimiento de las direcciones del flujo subterráneo y el espesor del acuífero.

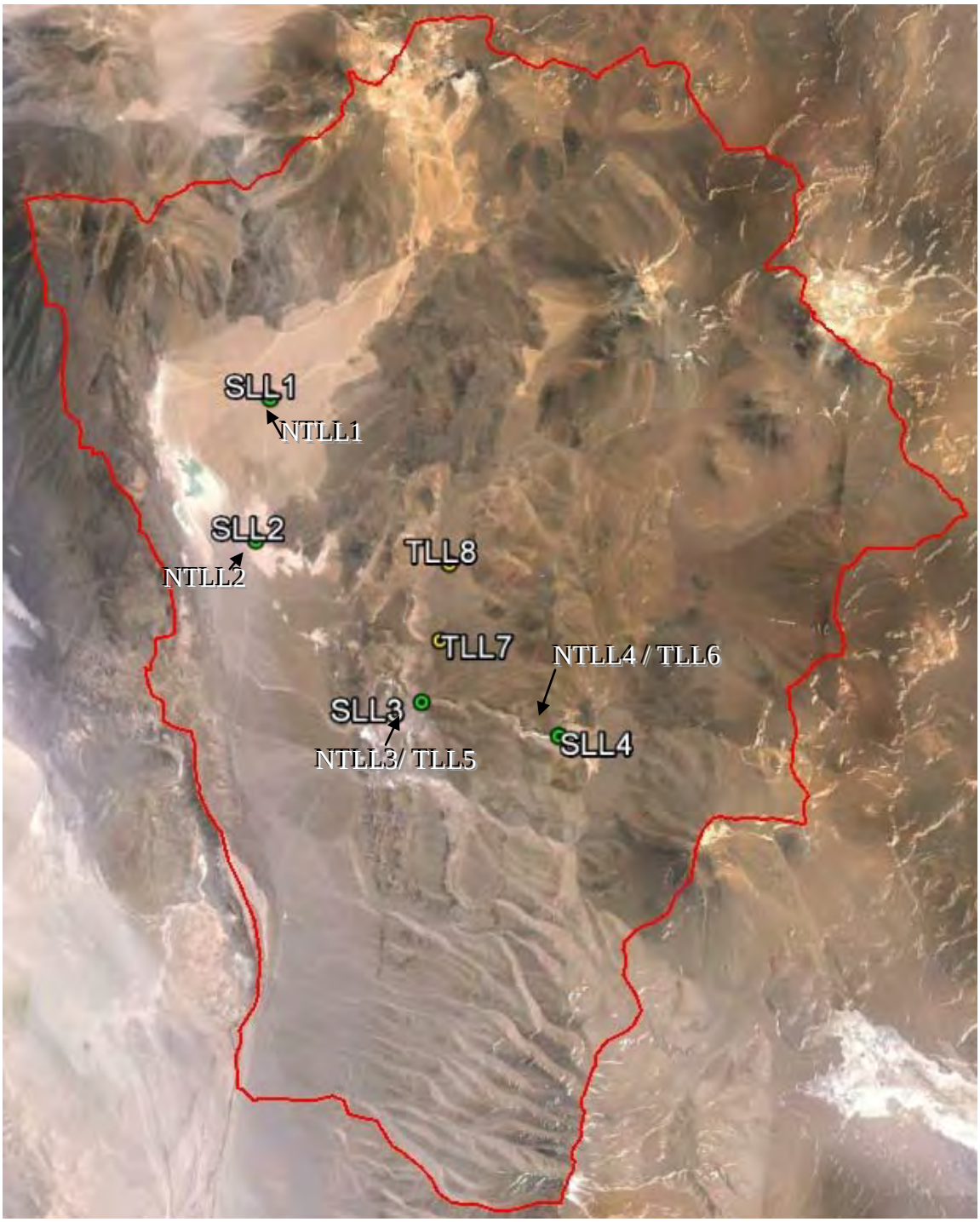
En particular se propone la perforación de 4 sondajes, con profundidades que van desde los 120 a los 200 m. Además se propone la medición de 4 estaciones mediante el método geofísico TEM y de 4 estaciones NanoTEM. La ubicación, cota, profundidad del sondaje o tipo de medición geofísica se presenta en el Cuadro 10.2-16. La ubicación en planta de las prospecciones propuestas se presentan en la Figura 10.2-16.

CUADRO 10.2-16
PIEZÓMETROS Y GEOFÍSICA TEM Y NANOTEM
PROPUESTA EN LA CUENCA LA LAGUNA

Piezometros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)	Tipo
SLL1	503.739	7.103.468	180	Sondaje
SLL2	503.766	7.099.669	120	Sondaje
SLL3	508.643	7.095.864	120	Sondaje
SLL4	512.390	7.095.360	200	Sondaje
NTLL1	503.739	7.103.468	60	NanoTEM
NTLL2	503.766	7.099.669	60	NanoTEM

Piezometros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)	Tipo
NTLL3	508.643	7.095.864	60	NanoTEM
NTLL4	512.390	7.095.360	60	NanoTEM
TLL5	508.643	7.095.864	300	TEM
TLL6	512.390	7.095.360	300	TEM
TLL7	508.951	7.097.548	300	TEM
TLL8	508.985	7.099.607	300	TEM

FIGURA 10.2-16
PROSPECCIONES PROPUESTAS EN CUENCA LA LAGUNA



10.2.5. Cuenca N° 2. Salar de Pedernales

a) Acuíferos

La cuenca del Salar de Pedernales posee un área aproximada de 3.596 km^2 y una cota media de 3.994 msnm; para efectos de este capítulo, se considerarán los estudios de DICTUC, 2010, SERNAGEOMIN, 2005 y CPH Consultores Ltda, 2004. Se divide en 3 subcuencas principales, la del Salar de Pedernales (que a su vez se divide en sector Norte y sector Sur, en el llano de Pedernales) ubicados al noroeste de la cuenca, la subcuenca Río Juncalito de 700 km^2, en el extremo sureste, la subcuenca Río La Ola de 1.325 km^2, en el sector sureste. La ubicación de estas subcuencas y de los principales sectores presentes en la cuenca se observan en la Figura 10.2-17.

Según el estudio de DICTUC, 2010, en el salar de Pedernales el nivel freático se ubica muy somero. En el margen noroeste del salar, el relleno saturado con salmueras alcanza 200 m de profundidad. Según sondajes realizados en el interior del sector noroeste del salar (SPD-1, SPD-2 y SPD-3), el espesor de la costra salina de halita bordea los 150 m, con algunas delgadas intercalaciones de arcilla, poco abundantes. Esta unidad correspondería a la unidad de salmueras, arcillas y/o costras salinas, cuyo espesor aumenta hacia el este, donde podría llegar a tener 400 m de potencia. Bajo este nivel se encuentra una capa salina arenosa de 50 m, y luego potentes paquetes de grava alternados con niveles de arenas gruesas y medias, y algunas intercalaciones de sedimentos finos. La profundidad de estos niveles alcanza como mínimo los 327 m, según el alcance del registro proporcionado por el pozo SPD-1.

Unidades similares se definen en el sureste del salar (sondaje PE-1), con niveles salinos arcillosos, acompañados de arenas, clastos y cristales de halita, que dominan los primeros 100 m, y en profundidad se alternan con paquetes de gravas y arenas. La profundidad máxima del relleno (~1.000 m) se ubicaría en el centro del salar, y correspondería a depósitos del Oligoceno (Eoceno?) al reciente

En el llano de Pedernales los sondajes disponibles en este sector alcanzan como máximo los 130 m de profundidad. Se observan depósitos aluviales compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas. Los pozos ubicados en el sector del antiguo curso fluvial se caracterizan por una granulometría dominada por arena media, gruesa y gravas, originada por posibles cauces fluviales de alta energía. El resto del llano, formado principalmente por extensos conos aluviales de baja pendiente, se caracteriza por arena fina a muy fina, estratificada con sedimentos de limo y arcilla.

La geofísica realizada por Geodatos en EDRA (1999 a) indica que habrían menos de 100 m de sedimentos superficiales secos, cuyo espesor disminuye en las cercanías del salar, al acercarse el nivel freático a la superficie. Bajo ellos se distinguen 100-200 m de un nivel con potencial acuífero, que engrana hacia el este con sedimentos finos y/o arcilla. Esta variación lateral de facies coincide con las diferencias granulométricas

presentadas por los pozos. El nivel inferior, de muy baja resistividad, se relaciona con sedimentos finos y salmueras.

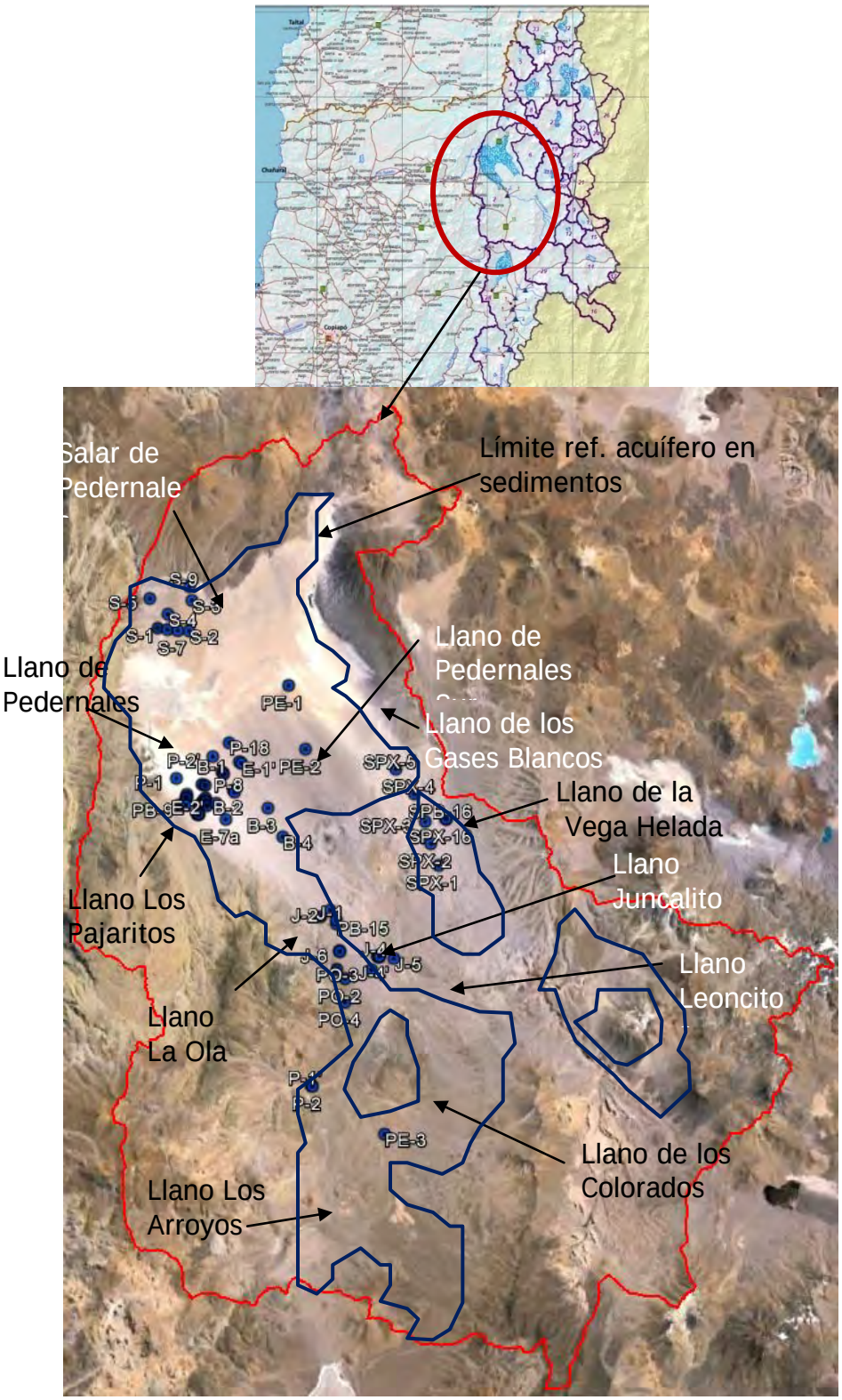
En el sector del llano de Pedernales Sur, se dispone con la información de los pozos PE-2 y Los Llanos 1, que abarcan 2.490 m de información estratigráfica, donde se observa una zona de alta permeabilidad. El nivel de sedimentos superficiales secos alcanza máximo unos 100 m cerca del margen Sur del llano, mientras que va acuñándose hacia el Norte, para desaparecer en el límite del salar donde el nivel saturado se aproxima a la superficie. Abajo se reconocen 50–100 m de sedimentos de grano medio, que corresponden a gravas y arenas con tobas que engranan lateralmente con los sedimentos salinos del salar. La superficie del basamento es irregular, con una cota promedio de 3.000–3.100 m s.n.m. lo que indicaría un espesor de relleno de 500 m.

En el llano de los Gases Blancos, se observan secuencias estratificadas de tobas con niveles de arena media a gruesa y grava, y en uno de ellos se reconocen 100 m de arcillas en la base. En ninguno de ellos se alcanzó la roca basal, por lo que el relleno posee mínimo 300 m de espesor. Estos depósitos en general albergan un acuífero de permeabilidad media, confinado por niveles impermeables piroclásticos y arcillosos. En profundidad, y lateralmente hacia el occidente, se encuentra en contacto con el supuesto nivel de sedimentos finos y/o arcillas mencionado en el Llano Pedernales Sur. Se tienen pocos antecedentes sobre la profundidad en que se encuentra el basamento, sólo se sabe con certeza que supera los 300 m.

Los sondajes ubicados en las proximidades del embalse La Ola y el Llano Juncalito, indican una unidad superficial de arena media a gruesa, arcillosa, con minerales de cuarzo, magnetita y mica, y líticos de composición volcánica (toba, riolita y andesita), de potencia cercana a los 150 – 200 m. En general, su permeabilidad es media a alta y se encuentra saturada bajo una delgada cobertura aluvial seca. Bajo esta unidad, en los sondajes más profundos suelen encontrarse depósitos volcánicos como toba (J-2), riolita (J-3 y J-4) e ignimbrita (J-7) de 200 m de potencia máxima. Éstos coincidirían con la roca basal.

El sector del llano Los Arroyos, ha sido caracterizado con el sondaje PE-3, de 181 m de profundidad. En los primeros 150 m prevalecen las arenas gravosas con clastos volcánicos e intercalaciones de toba, donde el nivel freático se ubica cercano a los 100 m de profundidad, descendiendo de este a Oeste desde una cota de 3.800 m s.n.m hasta 3.600 m s.n.m en el llano. Esta unidad cubre a un conjunto de estratos de permeabilidad media, asociados con areniscas y depósitos piroclásticos, cuyo espesor disminuye drásticamente hacia el Oeste. Abajo se encontrarían rocas sedimentarias antiguas cubriendo al basamento.

FIGURA 10.2-17
CUENCA Nº 2. SALAR DE PEDERNALES



Según el estudio de SERNAGEOMIN, 2005 (Figuras 10.2-18 y 10.2-19) los principales recursos se albergan en los llanos Pedernales, Leoncito, Pajaritos y las quebradas asociadas a los ríos La Ola, Juncalito, Leoncito y Pastos Largos, los que recargan de Sur a Norte el Salar de Pedernales. Las unidades con importancia hidrogeológica alta corresponden a acuíferos libres a semi confinados desarrollados en depósitos sedimentarios aluviales y fluviales desde el Mioceno Superior al Holoceno. Se incluye la Ignimbrita Wheelwright, localizada en la subcuenca del Río Juncalito. Los sedimentos correspondientes a los depósitos no consolidados son principalmente gravas y arenas, con alta porosidad y buena permeabilidad. Los depósitos aluviales del llano de Pedernales se constituyen por arenas y gravas que conforman un abanico aluvial, cuyo extremo distal engrana con los depósitos salinos del salar y los depósitos lacustres que constituyen la base del mismo. La porosidad de esta unidad es buena a muy buena y disminuye por la gradación del grano, hacía el salar. Se le estimó un espesor de 40 m, constituyéndolo como el gran almacenador y regulador de los aportes hídricos del salar de Pedernales.

Las unidades con mediana importancia hidrogeológica en depósitos no consolidados, corresponden a los depósitos salinos y limos salinos de Mioceno Superior al Holoceno, los que conforman el Salar de Pedernales y otro de menor tamaño localizados en el sector del llano de los Gases Blancos. Unidades de menor superficie son los acuíferos libres a semi confinados en depósitos eólicos en el margen oriental del salar de Pedernales, los depósitos coluviales en los faldeos de los volcanes más altos del sector y de remoción en masa en el sector oriental de la cuenca. Los primeros están formados por sales y limos salinos, y el resto por una mezcla de gravas, bloques y arenas mal seleccionadas, de matriz limo-arcillosa, que merman las capacidades hidrogeológicas de estos acuíferos.

Las unidades con importancia hidrogeológica media en rocas fisuradas, incluyen acuíferos de carácter libre, semi confinados, confinados y fracturados. Consisten en rocas volcanoclásticas, lavas y rocas sedimentarias (conglomerados, areniscas y calizas). Algunas presentan fracturamiento primario y secundario. Las unidades con baja importancia hidrogeológica corresponden a depósitos piroclásticos de bloques y cenizas, ignimbritas, lavas y depósitos lacustres, que, debido a su escaso fracturamiento o elevada presencia de sedimentos finos, poseen pobres características hidrogeológicas.

Finalmente, las unidades con escasa o nula importancia hidrogeológica están constituidas por una gran variedad de tipos litológicos con un amplio rango de edades. Corresponden a granitos y granodioritas de el Paleozoico al Mesozoico de edades paleozoicas y mesozoicas, respectivamente. El carácter macizo de las rocas

ígneas, ya sea tanto intrusivas como extrusivas, y el alto grado de cementación y compactación de las rocas sedimentarias antiguas, determinan que este conjunto se considere como impermeable. Sectores acotados con alto fracturamiento local pueden acumular agua, pero esta es drenada en corto tiempo.

FIGURA 10.2-18
MAPA HIDROGEOLÓGICO. FUENTE: MODIFICADO SERNAGEOMIN, 2005

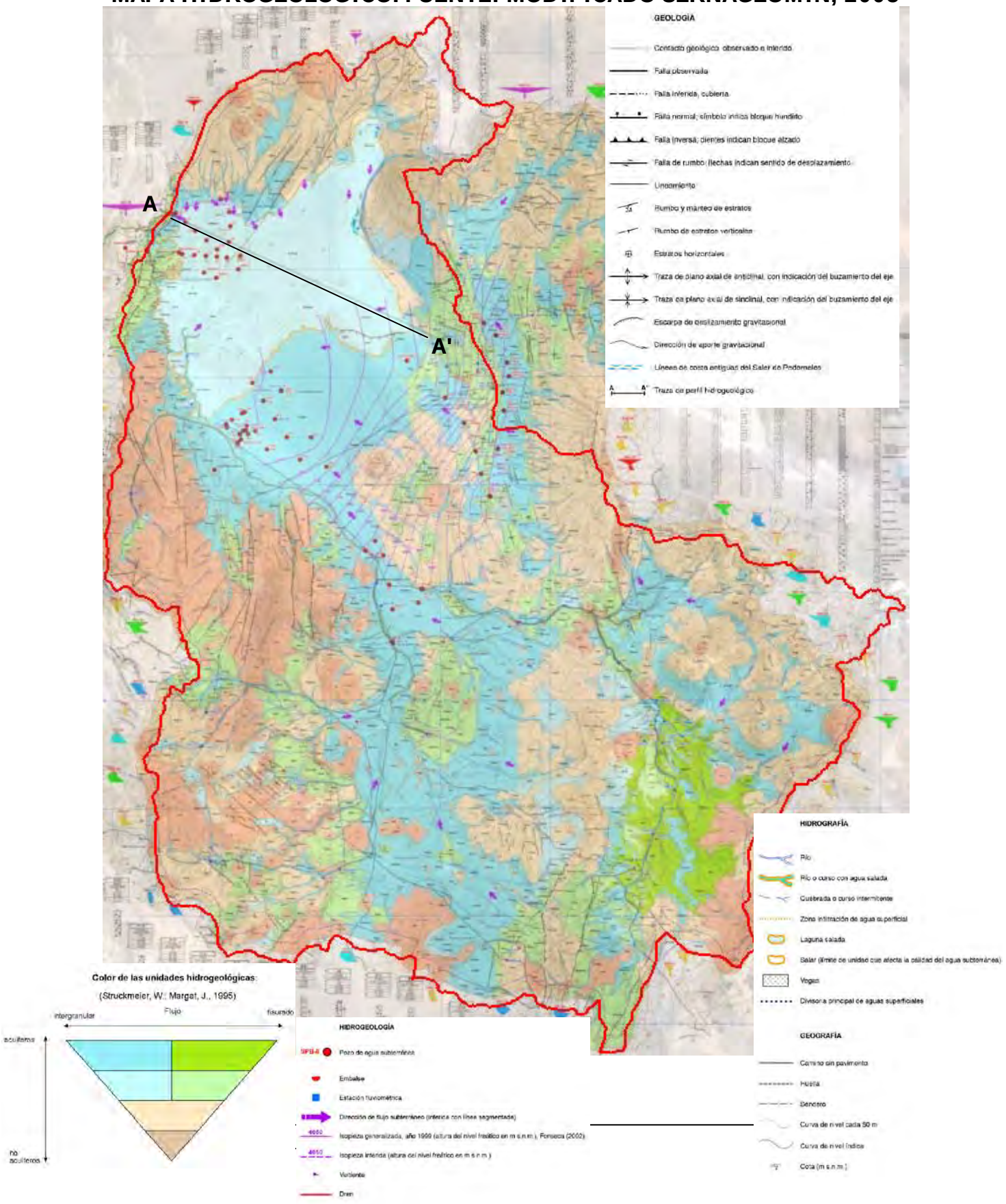
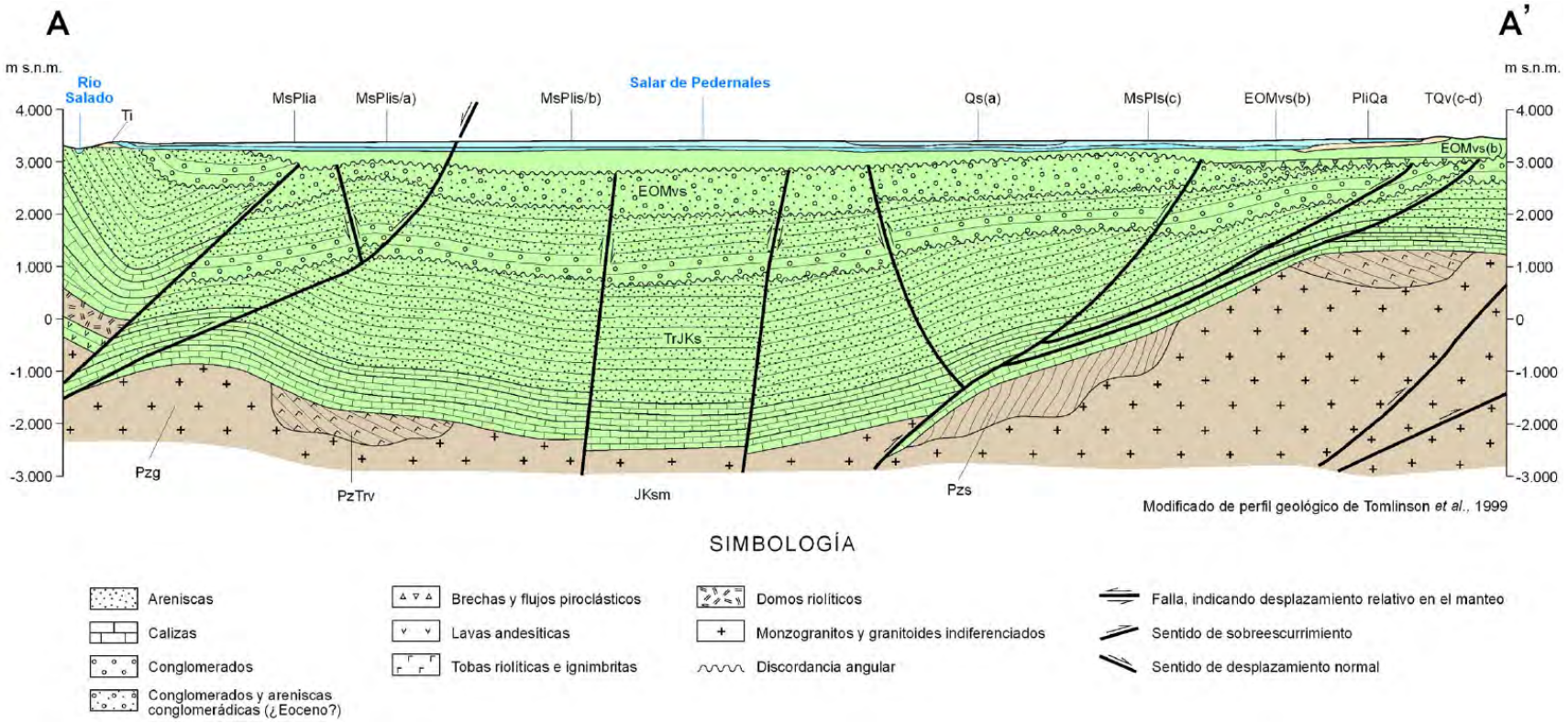


FIGURA 10.2-19
PERFIL HIDROGEOLÓGICO A-A'. FUENTE: SERNAGEOMIN, 2005



b) Exploración Geofísica

En la cuenca del Salar de Pedernales existen bastantes estudios geofísicos practicados sobre ella. En particular, se cuenta con la información de perfiles TEM realizados por CPH, 2004, donde se realizaron 5 perfiles que unen 78 estaciones. Los dos perfiles del Norte (TEM 1 y 2), se situaron transversales en el Salar de Pedernales, donde se observa un núcleo de salmuera de muy baja resistividad, cuya potencia máxima se ubica entre el salar y el llano de Pedernales. La roca basal se encuentra a profundidades comprendidas entre 600 y 200 m, alcanzando su mayor profundidad en el extremo Norte de los perfiles, y un alzamiento importante en el cruce de ambos perfiles.

Los siguientes dos perfiles (TEM 3 y 5), se encuentran transversales en el sector de La Ola, en donde se reconocen, sobre la roca basal, rocas sedimentarias antiguas, posiblemente de alta compactación y de baja permeabilidad, cuya potencia máxima bordea los 170 m. Sobre esta secuencia se depositan rellenos de baja resistividad, compuestos por material clástico y cinerítico de unos 150 m de potencia. El basamento rocoso que aflora en el extremo suroeste, se profundiza hasta unos 300 m bajo el nivel de terreno.

El perfil más austral corresponde al TEM-4, ubicado en el sector del llano de los Arroyos, donde se observa una roca basal bastante irregular variando entre 300 a 400 m de profundidad media, alcanzando valores extremos de 750 m hacia el este. Sobre la roca basal existe una unidad de baja resistividad que se ha interpretado como rocas sedimentarias antiguas (lutitas, arcillolitas, etc), compactas y de muy baja permeabilidad, constituyendo un paquete de sedimentos rocosos de 100 a 400 m de potencia. Sobre estas unidades existe una unidad asociable con una secuencia de areniscas arcillosas, arena media a gruesa, toba gris arenosa arcillosa e ignimbritas, con permeabilidad media. La potencia de esta unidad va desde 300 m en el este, a 100 m en el Oeste. Sobreyaciendo a esta unidad se encuentra una secuencia saturada parcialmente compuesta por gravas arenas e intercalaciones menores de tobas, especialmente hacia el techo de dicha unidad. Se observa una potencia de 100 a 200 m.

Con respecto a los estudios geofísicos presentados en el Mapa Hidrogeológico de la cuenca del Salar de Pedernales, SERNAGEOMIN, 2005, donde se incluyeron perfiles gravimétricos y estaciones puntuales SEV, los resultados más relevantes según la gravimetría corresponden al hallazgo de una anomalía gravimétrica negativa, ubicada aproximadamente en la parte central del Salar de Pedernales, que geológicamente es relacionada con depósitos salinos del Mioceno tardío-Plioceno y a los depósitos salinos recientes del salar. Estos depósitos sedimentarios, según la interpretación de esta anomalía, podrían alcanzar una profundidad de 1.000 m aproximadamente. Esta unidad se puede correlacionar además con las sales, gravas y rocas volcanoclásticas depositadas desde el Oligoceno (Eoceno?) hasta la época reciente.

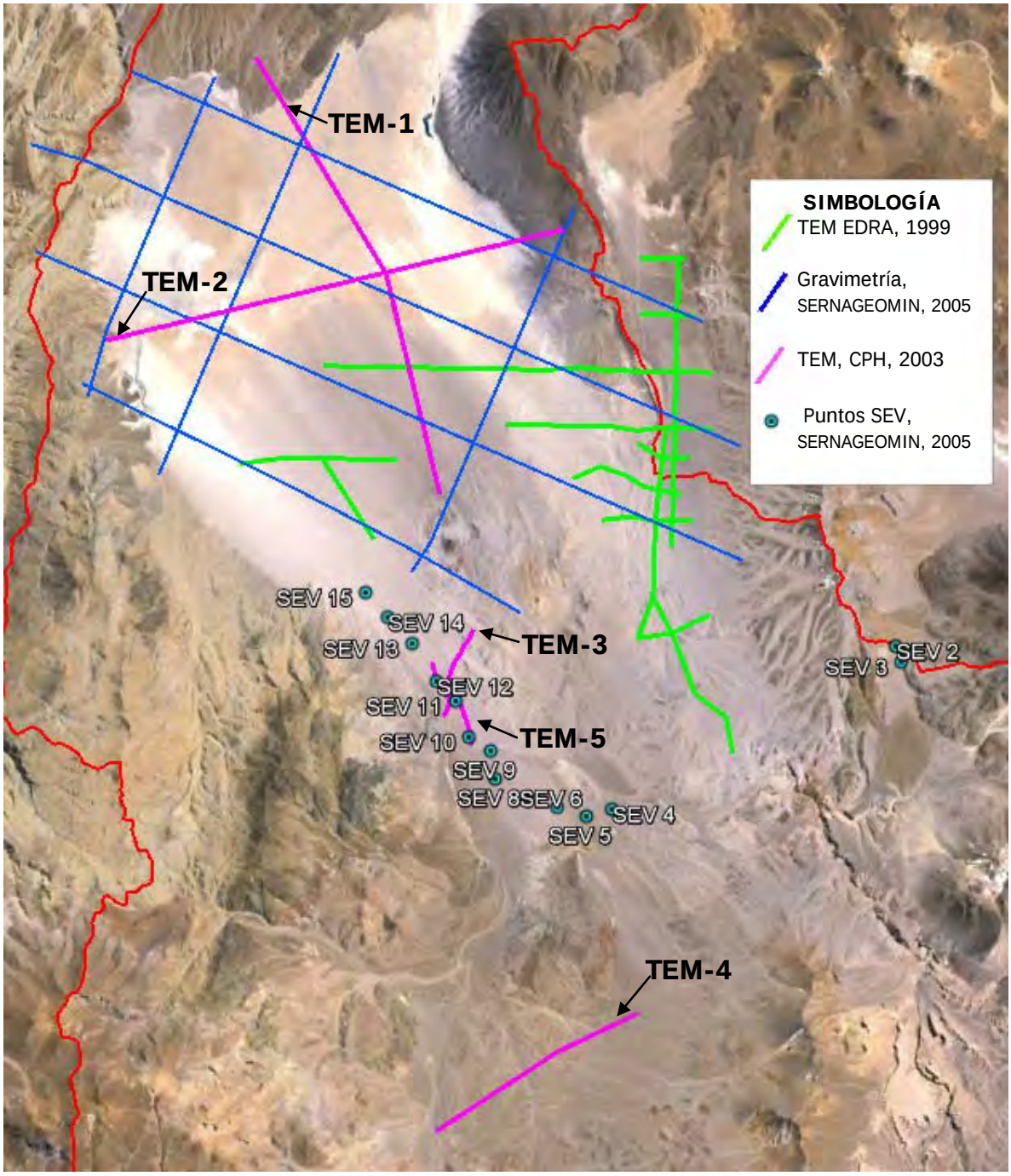
Los SEV que fueron desarrollados corresponden a 15 estaciones en el área de estudio. Los 3 primeros se midieron en el límite de la cuenca del Salar de Pedernales con la cuenca del Salar de Piedra Parada. Los otros 12 SEV se efectuaron en el Llano La Ola, para determinar el espesor de los sedimentos con potencial hidrogeológico, que conectan el flujo de agua subterránea desde las subcuencas de Juncalito y el río La Ola, hacia el Salar de Pedernales. En los 3 primeros SEV, se obtuvieron sumariamente 2 capas. Una primera de 110-510 ohm*m con una profundidad entre 170-210 m, interpretada como depósitos aluviales con intercalaciones de flujos de lavas, probablemente secos. Bajo esta, se observa una capa de baja resistividad, entre 11-15 ohm*m, con un espesor que va aumentando hacia el Sur (630, 950 y 2.000 m), interpretada como una unidad volcano sedimentaria con probable alto potencial hidrogeológico.

Siguiendo la pendiente de la base de esta unidad, existe la posibilidad de que exista un flujo subterráneo desde la cuenca del Salar de Piedra Parada, hacia la cuenca del Salar de Pedernales a través de la subcuenca del río Juncalito. En los SEV desarrollados en el Llano La Ola, la interpretación no es sencilla, pero el hecho más significante es la geometría de la capa más profunda, con valores de resistividad >500 ohm*m, que ha sido interpretada como el basamento impermeable, que de Sur a Norte indica profundidades mayores a 450 m (SEV 4 a 9), 50-150 m (SEV 10 a 13) y >300 m (SEV 14 a 15).

El sector entre los SEV 10 a 13 coincide con los límites entre la subcuenca del Salar de Pedernales con las subcuencas de La Ola y Juncalito, donde el ancho del valle es mínimo. La capa asociada a un alto potencial hidrogeológico posee resistividades entre 2,3-24 ohm*m, ubicada a 20-150 m b.n.s. y alcanzando profundidades mayores a 450 m, con espesores mayores a 400 m. Se asocia a depósitos aluviales o volcánicos de edades que van del Terciario al Cuaternario. Existe además en todas las estaciones de este sector una capa superficial a sub-superficial, con resistividades entre 8,5 a 100 ohm*m, con distintos grados de saturación, corresponde a una unidad con un potencial hidrogeológico alto a medio. Posee espesores entre 20-100 m, aparece desde la superficie hasta los 45 m b.n.s.

Con respecto a los TEM desarrollados por EDRA, 1999, el cual tuvo como foco principal investigar los sedimentos alojados en el Llano de la Vega Helada (cuenca de La Laguna), pero que de igual forma midieron perfiles en el Llano de Pedernales Sur y en el Llano de Gases Blancos, se obtuvieron como resultados principales, un espesor del acuífero mayor a 300 m y que en la mayor parte del área estudiada superaría los 500 m. La unidad geoeléctrica más interesante sería la comprendida entre los 10 y 60 ohm*m, que correspondería estratigráficamente a una unidad de relleno constituida por material sedimentario con intercalaciones de toba, que presentaría importancia hidrogeológica alta por su buena permeabilidad.

FIGURA 10.2-20
MAPA DE UBICACIÓN DE GEOFÍSICA, CUENCA SALAR DE PEDERNALES



c) Niveles de Aguas Subterráneas

En la cuenca Salar de Pedernales se cuenta con información de 64 pozos, donde más de la mitad pertenecen a la División El Salvador de CODELCO. Otro número importante de pozos fue construido para Placer Dome Latin America, principalmente en el Llano de los Gases Blancos y Llano de la Vega Helada, en el sector estudiado por EDRA como Cerro Pampa, en 1999 (a). Un detalle de las coordenadas de los pozos, cota del terreno, fecha, profundidad y cota del nivel estático se presenta en el Cuadro 10.2-17.

Se cuenta además con la información entregada por 31 calicatas realizada por CPH Consultores en el sector del salar. En la Cuadro 10.2-18 se presenta su información.

CUADRO 10.2-17
POZOS CON NIVELES EN LA CUENCA SALAR DE PEDERNALES

Nombre pozo	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Cota terreno (m s.n.m)	Fecha	NE (m b.n.t.)	Cota NE (m s.n.m)
B-1	485.413	7.088.435	3.394,6	sep-03	32,63	3.361,97
B-2	484.841	7.085.746	3.407,7	sep-03	46,38	3.361,32
B-3	488.118	7.084.025	3.454,5	sep-03	87,95	3.366,55
B-4	489.522	7.081.304	3.483,4	sep-03	70,48	3.412,92
E-1'	485.616	7.088.285	3.393,8	jul-76	27,21	3.366,59
E-2'	483.186	7.084.525	3.395,2	jul-76	32,82	3.362,38
E-7a	484.102	7.082.979	3.426	sep-03	64,63	3.361,37
J-1	494.586	7.073.415	3.569,4	sep-03	14,06	3.555,34
J-2	494.016	7.074.355	3.557,4	sep-03	16,24	3.541,16
J-3	498.586	7.070.005	3.690	ene-82	14,50	3.675,50
J-3'	498.506	7.069.985	3.690	sep-03	17,65	3.672,35
J-4	498.686	7.069.935	3.690	feb-82	14,00	3.676,00
J-4'	498.676	7.070.005	3.690	sep-03	17,68	3.672,32
J-5	500.066	7.069.755	3.683,2	sep-03	5,64	3.677,56
J-6	494.906	7.070.435	3.600	feb-82	15,50	3.584,50
J-7	493.116	7.073.735	3.560	abr-82	3,65	3.556,35
P-1'	492.117	7.057.814	3.660	-	16,10	3.643,90
P-1	479.386	7.086.885	3.361,5	1976	1,30	3.360,20
P-18	484.441	7.090.216	3.373,4	jul-03	10,16	3.363,24
P-19	480.378	7.085.375	3.375,1	1976	14,58	3.360,52
P-19a	480.339	7.085.053	3.377,6	sep-03	18,32	3.359,28
P-2	492.234	7.057.712	3.660	1986	15,70	3.644,30
P-2'	482.876	7.088.925	3.364,5	1976	30,70	3.333,80

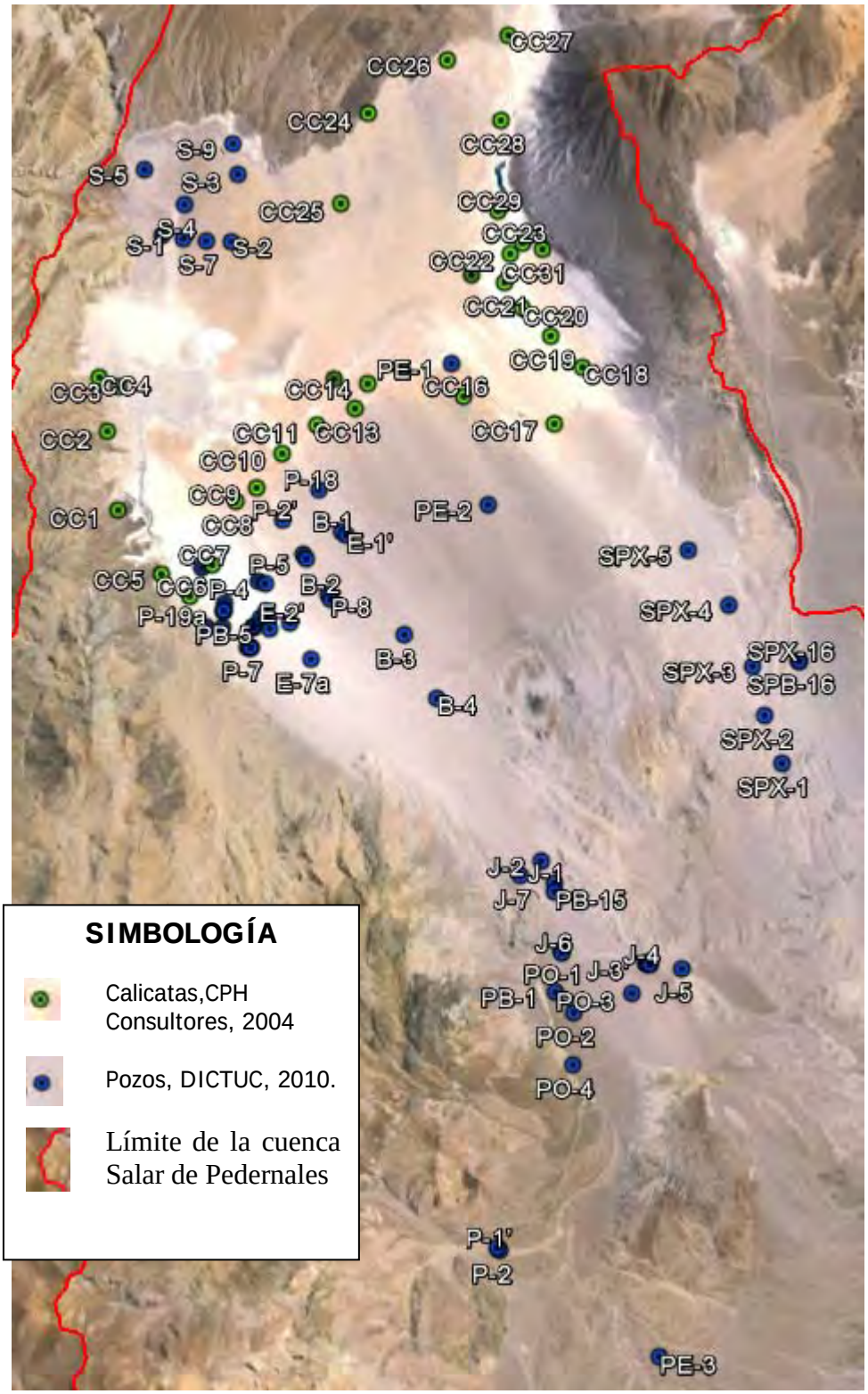
P-4	482.136	7.086.205	3.376,9	1976	30,70	3.346,20
P-4a	481.826	7.086.306	3.376,5	sep-03	16,13	3.360,37
P-5	483.896	7.087.265	3.384	1976	18,42	3.365,58
P-7	481.496	7.083.465	3.388,9	1976	28,05	3.360,85
P-7a	481.356	7.083.482	3.394,7	sep-03	35,37	3.359,33
P-8	484.936	7.085.545	3404,9	1976	41,00	3.363,90
PB-1	494.626	7.068.755	3.615	jun-82	15,48	3.599,52
PB-10	480.322	7.085.024	3.420	sep-01	18,98	3.401,02
PB-11	479.583	7.084.358	3.420	oct-01	23,32	3.396,68
PB-13	481.506	7.083.482	3.394	may-02	37,98	3.356,02
PB-15	494.588	7.073.040	3.572,3	dic-03	12,24	3.560,06
PB-5	482.316	7.084.275	3.393,8	ene-83	30,65	3.363,15
PB-6	481.916	7.084.725	3.386,8	ago-82	24,47	3.362,33
PB-7	482.166	7.085.025	3.386,1	oct-82	23,08	3.363,02
PB-8	481.605	7.084.351	3.389,7	ene-86	27,64	3.362,06
PB-9	480.294	7.084.334	3.381,7	sep-99	23,24	3.358,46
PE-1	490.140	7.095.612	3.356,6	dic-03	2,83	3.353,77
PE-2	491.730	7.089.576	3.426,4	dic-03	62,88	3.363,52
PE-3	499.087	7.053.171	3.764,6	dic-03	96,50	3.668,10
PO-1	494.896	7.070.525	3.595	sep-03	15,66	3.579,34
PO-2	495.416	7.067.875	3.620	feb-82	22,06	3.597,94
PO-3	497.916	7.068.705	3.670	mar-82	28,83	3.641,17
PO-4	495.376	7.065.645	3.625	sep-03	9,56	3.615,44
PO-8	481.611	7.084.336	3.389,5	jul-03	14,25	3.375,25
POLLOP	482.209	7.084.735	3.359,6	sep-03	31,38	3.328,22
S-1	478.574	7.100.968	3.353,3	nov-75	1,13	3.352,17
S-2	480.646	7.100.830	3.351,9	nov-75	2,22	3.349,68
S-3	480.925	7.103.711	3.351,8	nov-75	1,25	3.350,55
S-4	478.624	7.102.423	3.353,6	nov-75	0,91	3.352,69
S-5	476.893	7.103.921	3.351,6	nov-75	0,85	3.350,75
S-6	477.658	7.101.103	3.351,5	jun-03	1,13	3.350,37
S-7	479.568	7.100.863	3.353,4	jun-03	1,37	3.352,03
S-9	480.706	7.105.028	3.351,5	jun-03	0,90	3.350,60
SPB-1	504.369	7.078.547	3.800,2	mar-99	61,21	3.738,99
SPB-16	505.095	7.082.934	3.755	feb-99	113,89	3.641,11
SPX-1	504.367	7.078.536	3.801,4	mar-99	62,38	3.739,02
SPX-2	503.621	7.080.585	3.739,8	mar-99	56,58	3.683,22
SPX-3	503.101	7.082.680	3.677,9	mar-99	23,17	3.654,73
SPX-4	502.076	7.085.295	3.609,3	mar-99	18,42	3.590,88
SPX-5	500.331	7.087.639	3.539,8	mar-99	67,90	3.471,90

CUADRO 10.2-18
CALICATAS, SALAR DE PEDERNALES. FUENTE CPH CONSULTORES, 2004

Calicata	UTM Este	UTM Norte	Cota	Nivel Estático (NE)		
	(m)	(m)	(m snm)	Prof. (m)	Cota (m snm)	Fecha
CC1	475.776	7.089.350	3.356,83	1,28	3.354,87	18-07-2003
CC2	475.309	7.092.720	3.353,66	2,1	3.350,96	18-07-2003
CC3	475.793	7.094.632	3.351,55	0,52	3.351,03	18-07-2003
CC4	474.956	7.095.025	3.360	4,34	3.355,66	06-06-2003
CC5	477.650	7.086.612	3.390	2,75	3.387,25	07-06-2003
CC6	478.877	7.085.663	3.360	seca	-	07-06-2003
CC7	479.839	7.087.006	3.390	seca	-	07-06-2003
CC8	480.853	7.089.727	3.356,38	1,39	3.354,91	18-07-2003
CC9	481.754	7.090.302	3.390	?		07-06-2003
CC10	482.850	7.091.769	3.351,74	0,74	3.351	18-07-2003
CC11	484.342	7.092.989	3.354,08	2,15	3.351,25	19-07-2003
CC12	485.084	7.094.955	3.352,21	1,08	3.350,98	19-07-2003
CC13	485.987	7.093.695	3.360	3,84	3.356,16	08-06-2003
CC14	486.533	7.094.760	3.360	?	-	08-06-2003
CC15	488.009	7.095.379	3.352,34	0,68	3.351,41	19-07-2003
CC16	490.662	7.094.210	3.360	?	-	08-06-2003
CC17	494.569	7.093.038	3.358,58	1,78	3.356,33	19-07-2003
CC18	495.771	7.095.452	3.390	seca	-	09-06-2003
CC19	494.407	7.096.792	3.390	?	-	09-06-2003
CC20	493.173	7.097.996	3.360	?	-	09-06-2003
CC21	492.420	7.099.081	3.351,35	0,39	3.350,96	19-07-2003
CC22	492.660	7.100.309	3.360	0,2	3.359,8	09-06-2003
CC23	493.193	7.100.770	3.352,24	1,15	3.350,29	19-07-2003
CC24	486.534	7.106.326	3.350,76	2	3.348,86	21-08-2003
CC25	485.361	7.102.461	3.360	-	-	-
CC26	489.939	7.108.600	3.350	0,83	3.349,17	20-08-2003
CC27	492.564	7.109.652	3.349,95	0,31	3.349,64	21-08-2003
CC28	492.253	7.106.017	3.349,94	0,1	3.349,84	21-08-2003
CC29	492.124	7.102.140	3.350,27	0,41	3.349,86	21-08-2003
CC30	490.996	7.099.409	3.351,27	0,85	3.350,42	22-08-2003
CC31	494.047	7.100.503	3.355,48	2,26	3.352,66	22-08-2003

La Figura 10.2-21 muestra la ubicación de las calicatas y de los pozos presentes en la cuenca Salar de Pedernales.

FIGURA 10.2-21
UBICACIÓN DE POZOS Y CALICATAS, CUENCA SALAR DE PEDERNALES



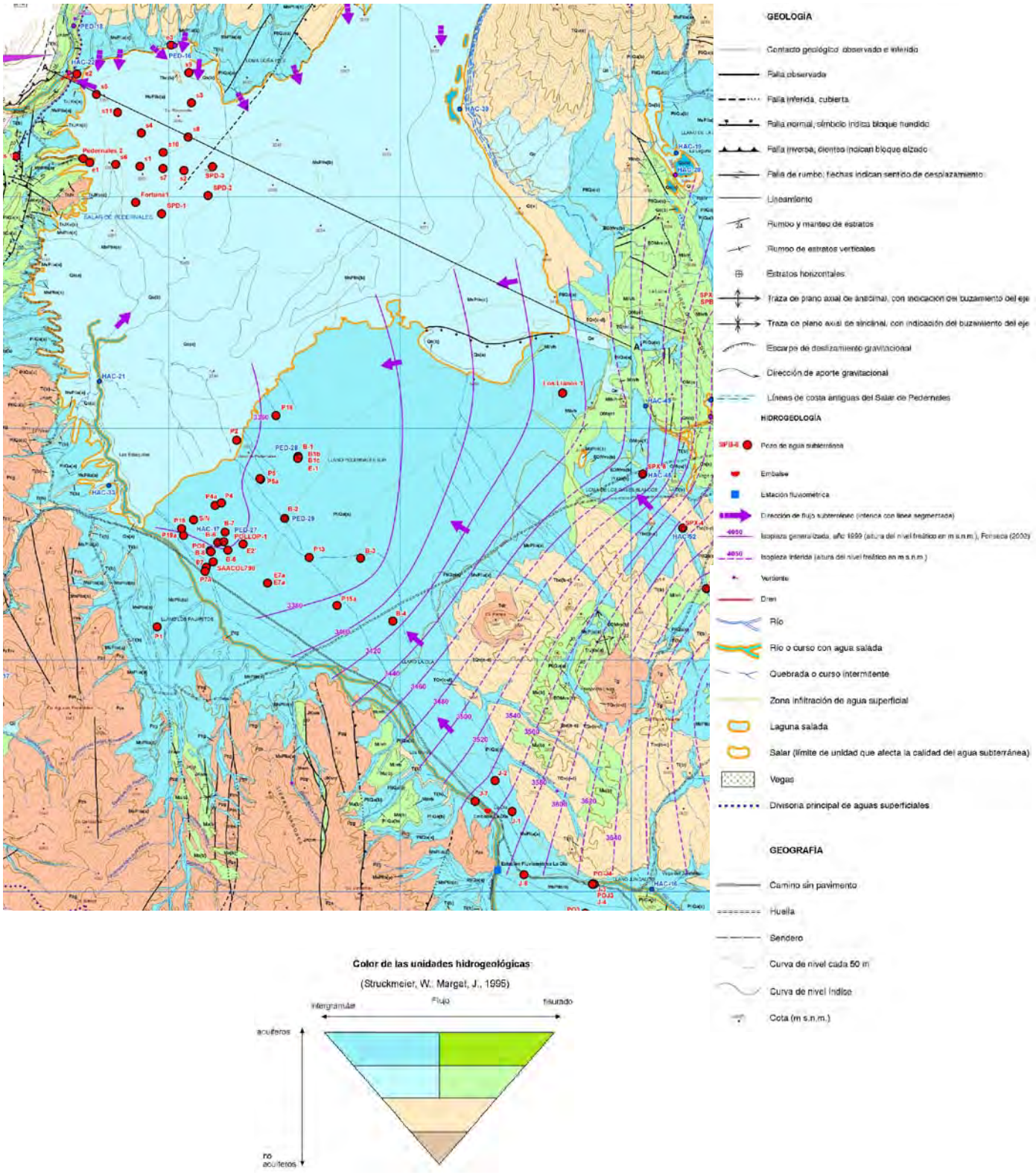
La Figura 10.2-22 muestra las isopiezas y las líneas de flujo construidas por SERNAGEOMIN, 2005. Del estudio de DICTUC, 2010, se resume la interpretación de la piezometría de la cuenca. Para estos efectos se tomó en cuenta el carácter de acuífero freático o libre de la cuenca, donde los distintos estratos se encuentran conectados y el nivel medido refleja el valor único del conjunto.

Como puede apreciarse en esa figura, el agua subterránea se mueve en forma similar a como lo hace la red de drenaje superficial de la cuenca. De manera general, puede señalarse que los gradientes son mayores en el sector del Llano La Ola y aguas abajo de éste, y menores en el área del Llano de Pedernales y Salar de Pedernales, donde convergen las aguas subterráneas y salen de la cuenca en la forma de flujo de evaporación desde lagunas y niveles freáticos someros. La comparación de algunos niveles de pozos en una línea que sigue la dirección del principal curso superficial de la cuenca (aprox. SSE-NNW) se presenta a continuación:

La cota del agua subterránea, donde se ubica el pozo PE-3 (en la parte baja del Llano los Arroyos), es unos 50 m mayor a la cota de agua subterránea medida en el pozo PO-4, ubicado en la parte alta del Llano Leoncito. En este sector, se observa depósitos de menor permeabilidad que en el llano Los Arroyos, que podría explicar el nivel más profundo registrado en el Llano Leoncito. La cota del agua subterránea en la parte alta del Llano Leoncito (PO-4) es unos 50 m mayor a la medida en el sector de La Ola (PB-15). En este tramo, el gradiente de la napa es de $7{,}4 \times 10^{-3}$, similar al de aguas arriba. El pozo PO-4 se encuentra próximo (aguas abajo) al sector Ojos de Agua de La Ola, donde se producen afloramientos en el río probablemente asociados al angostamiento de la sección hidrogeológica que viene desde aguas arriba. La cota del agua en el sector de La Ola (PB-15) es unos 200 m mayor a la medida en el Llano de Pedernales Sur (B-3). En este tramo, el gradiente alcanza un valor de $1{,}5 \times 10^{-2}$, superior en un orden de magnitud a los tramos anteriores. Esto se correlaciona bien con la baja permeabilidad en la zona de La Ola, debido a intercalaciones de tobas, además de presencia de limo y arcilla en los pozos.

Desde este último punto (B-3) y hacia el Norte, las diferencias de nivel se reducen, presentándose una superficie freática más plana en el área del Llano de Pedernales y del salar, en el rango de los 3.350 a 3.365 m s.n.m. El gradiente entre los pozos B-3 y B-1 es de $8{,}8 \times 10^{-4}$, lo que indica una mayor permeabilidad. Como puede notarse, las zonas con menos información corresponden a las partes altas de la cuenca. Interesaría conocer los sectores al este y Oeste de la Cordillera Claudio Gay, que corresponde a la subcuenca del Río Juncalito y el Llano los Arroyos, respectivamente. Ambas zonas representan interés por el hecho de que existen potenciales flujos subterráneos regionales, provenientes principalmente de cuencas a mayor cota al este.

FIGURA 10.2-22
PIEZOMETRÍA SOBRE MAPA HIDROGEOLÓGICO
FUENTE: MODIFICADO SERNAGEOMIN, 2005



d) Constantes Elásticas

En los estudios de CPH Consultores Ltda, 2004, y el de EDRA, 1999, se presentan el cálculo de las constantes elásticas, donde se utilizaron todos los ensayos disponibles y cuyos datos eran adecuados para su interpretación.

Desde el año 1977 al 2002 se efectuaron numerosas pruebas de bombeo en la Cuenca del Salar de Pedernales; la mayoría de los pozos sometidos a estos ensayos están ubicados en el extremo oriente del Llano Pedernales Sur y en menor medida en el Llano Leoncito.

Se seleccionaron las pruebas de bombeo con mayor duración, cantidad y calidad de registros. De este modo se presentan 16 ensayos de bombeo cuyas características generales, los resultados de transmisividad y coeficiente de almacenamiento se observan en el Cuadro 10.2-19.

CUADRO 10.2-19
CONSTANTES ELÁSTICAS DE LA CUENCA SALAR DE PEDERNALES

Pozo	Fecha	Q (l/s)	Duración (min)	T (m2/d)	S	Sector/Llano
B-1	mar-77	27,5	1.500	838		Pedernales sur
B-2	may-77	70	1.440	1.700	0,1	Pedernales sur
B-3	may-77	40	1.320	1.230		Pedernales sur
B-4	jun-77	3,5	420	180	0,012	Pedernales sur
J-3	ene-82	10,8	1.440	1.120		Leoncito
J-6	mar-82	28	1.440	707	0,02	Leoncito
PO-3	mar-82	10	1.410	576		Leoncito
PO-4	abr-82	15	1.530	500		Leoncito
PB-7	nov-82	100	2.880	3.800		Pedernales sur
PB-9	sep-99	90	2.880	4.980		Pedernales sur
PB-10	sep-01	100	2.880	4.860		Pedernales sur
PB-12	oct-01	105	2.880	11.200		Pedernales sur
PB-13	may-02	3,8	1.440	915		Pedernales sur
PB-15	dic-02			21	0,097	La Ola
SPB-1	mar-99	6	4.560	25-50	$3,5 \times 10^{-4}$	Vega Helada
SPB-16	mar-99	102	2.880	1850	$3,18 \times 10^{-8}$	Vega Helada

Los pozos ubicados en el Llano Pedernales Sur, presentan altos valores de transmisividad, que se condice con la estratigrafía gruesa (arenas y gravas) con poco o nada de finos, situación que tiende a mantenerse en todo el centro del llano y a contaminarse con material fino (limo y arcilla) hacia los límites rocosos de la llanura. Los valores relativamente más bajos en los pozos PB-13 y B-4, que se localizan en las

cercanías de los límites naturales del llano, corresponden a áreas en donde los parámetros tienden a disminuir en un orden de magnitud. La alta transmisividad del pozo PB-12 tendría su explicación en la gran cantidad de arenas gruesas y gravas que forman el acuífero en el área y en la presencia de zonas de acumulación de agua superficial y subterránea en las inmediaciones de los pozos y próximas al salar.

El Llano Leoncito, ubicado inmediatamente aguas arriba del Embalse la Ola, presenta condiciones mucho más homogéneas en su acuífero y los pozos allí ubicados acusan transmisividades mucho más bajas que las encontradas en el Llano Pedernales Sur. Esto tendría su origen en depósitos cineríticos lavados de los afloramientos circundantes, que contaminan el material sedimentario constituyente del Llano Leoncito.

El coeficiente de Almacenamiento (S) en el Llano Leoncito y en el Llano Pedernales Sur alcanza valores en torno al 2 %, coincidente con la calidad de acuífero no confinado a semi confinado.

En el sector del Embalse la Ola se produce una baja considerable de la transmisividad en el acuífero. Esta situación tendría su origen en la abundante cantidad de intercalaciones de tobas muy poco cementadas y cenizas en el relleno sedimentario clástico, contaminando así la matriz del mismo. Ambos hechos son reconocidos como favorables para una baja velocidad del flujo de agua subterránea. En este sector sólo se cuenta con una prueba de bombeo, correspondiente al pozo de bombeo PB-15, donde se obtuvo una transmisividad de 21 m^2/d y un coeficiente de almacenamiento de 9,71%.

Los pozos SPB-1 y SPB-16, ubicados en el sector Sur de la Vega Helada que se encuentra en la cuenca Salar de Pedernales, poseen pruebas de bombeo que fueron interpretadas en el estudio de EDRA, 1999. Según este informe se obtuvieron valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento, entre 25-50 m^2/d y de 1.850 m^2/d y de $3,5 \times 10^{-4}$ y $3,18 \times 10^{-8}$ para los pozos SPB-1 y SPB-16 respectivamente. Estos valores indican un carácter de acuífero semi confinado en el pozo SPB-1 y el almacenamiento tan bajo del pozo SPB-16 indicaría el carácter de un acuífero confinado.

e) Volúmenes Embalsados

El cálculo del volumen embalsado presente en esta cuenca, corresponde al calculado en el estudio de CPH Consultores Ltda, 2004, donde se realizó un modelo matemático de simulación de flujo, con calibración en régimen permanente y calibración/simulaciones en régimen transiente por 54 años (desde 1.974 a 2.028), desde que se tiene registros meteorológico confiables (1.974 al 2.000) para luego duplicar la recarga de ese tiempo en el futuro. El límite del modelo se circunscribe a la zona aledaña al Salar de Pedernales, de donde se poseía una mayor y mejor

calidad de información, tanto de pozos como geofísica que permiten la construcción de un modelo más robusto. En la zona de la cuenca, fuera del modelo, se realizó una estimación de los parámetros, realizando un cálculo más aproximado que el obtenido en la modelación.

Mediante la distribución de los coeficientes de almacenamiento que se utilizó para el proceso de calibración del modelo, se determinó el volumen de agua subterránea embalsada en el área sometida a simulación. Además de este ejercicio, se determinó el volumen de agua existente en la extensa zona que se dispone hacia el Sur del Embalse La Ola, para lo cual se utilizaron los antecedentes geológicos y geofísicos disponibles. Es importante señalar que los datos de este sector son muy escasos y que salvo en el sector del Llano Leoncito, no existe antecedentes del coeficiente de almacenamiento que caracteriza a los rellenos permeables donde se aloja el acuífero.
La geometría acuífera requerida para determinar el volumen de agua subterránea embalsada en el área, se determinó haciendo uso de la información que entregaron los sondajes y la geofísica, determinando así que el volumen total de acuífero saturado asciende a 123.685,18 Mm^3.

Utilizando los coeficientes de almacenamiento ingresados al modelo, se calcula, para la zona simulada, un volumen de 5.624,33 Mm^3 de agua subterránea.

El área en comento se subdividió en 6 subzonas, cada una tipificada por un coeficiente de almacenamiento específico, tal como lo muestra el Cuadro 10.2-20.

CUADRO 10.2-20
VOLUMEN DE AGUA SUBTERRÁNEA EMBALSADA EN EL AREA DE SIMULACIÓN

Zona	Area (Km^2)	V. Saturado (Mm^3)	Coeficiente Almacenamiento	V. Embalsado (Mm^3)
1	24,19	2.475,36	0,05	111,39
2	3,21	1.007,14	0,15	151,07
3	77,55	18.247,76	0,07	1.277,34
4	206,10	58.761,04	0,04	2.056,64
5	147,80	30.013,21	0,05	1.500,66
6	80,93	13.180,68	0,04	527,23
Total	**539,78**	**123.685,18**		**5.624,33**

En la zona de la cuenca que se ubica hacia aguas arriba de la captación La Ola, vale decir, aquel sector que no se incluyó en la simulación hidrogeológica, el volumen de agua subterránea embalsada se determinó haciendo uso de los antecedentes. Para este cálculo se determinaron los siguientes parámetros:

- Área cubierta por el acuífero: 219,3 km^2;
- Espesor medio de acuífero saturado: 183,26 m;
- Coeficiente de almacenamiento del acuífero: 7%.

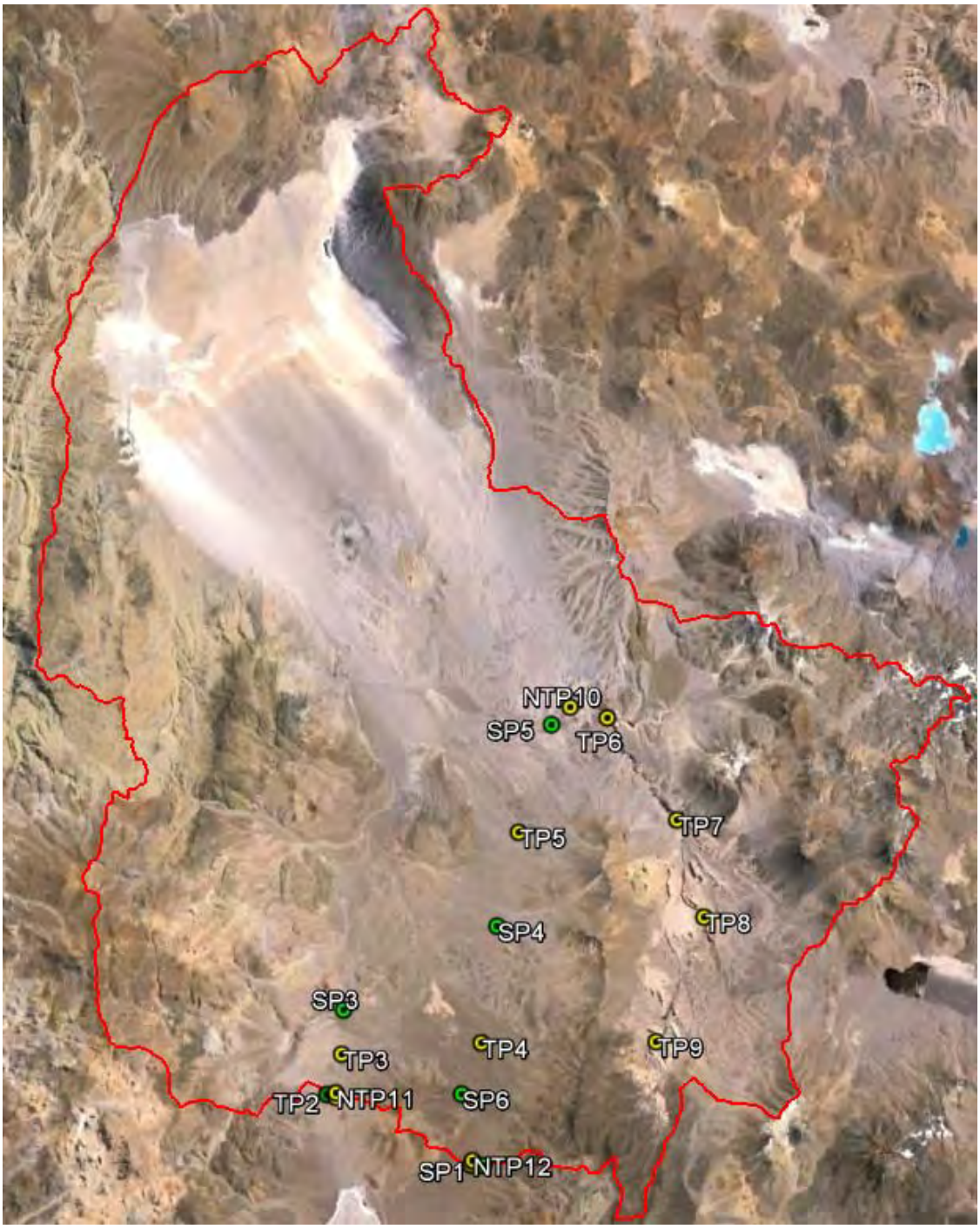
Así determina un volumen total de agua subterránea embalsada de 2.813.224 m^3. Con respecto a los trabajos adicionales propuestos, en esta cuenca se recomienda priorizar las zonas del Sur, donde no existe una mayor densidad de información.

Así, se detalla en el Cuadro 10.2-21, la ubicación, método, geofísico o si es sondaje y cuál es su profundidad. Luego se presenta en la Figura 10.2-23, una imagen que ilustra la ubicación de las prospecciones propuestas. Se recomienda la perforación de 6 piezómetros (SP), todos de una profundidad preliminar de 120 m, pero se deben repensar teniendo previamente los resultados de la geofísica TEM y NanoTEM, debido a la misión de los piezómetros de entrar varios metros en el acuífero, para asegurar las mediciones prolongadas en el tiempo, indiferentes a los descensos por la explotación del acuífero. Con respecto a la geofísica, se propone la medición de 9 estaciones TEM y 3 estaciones NanoTEM, totalizando 12 estaciones geofísicas para la cuenca del Salar de Pedernales.

CUADRO 10.2-21
PIEZÓMETROS Y GEOFÍSICA TEM Y NANOTEM PROPUESTA EN LA CUENCA DEL SALAR DE PEDERNALES

Piezómetros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Tipo	Profundidad (m)
SP1	504.102	7.033.140	Piezómetro	120
SP2	491.967	7.038.639	Piezómetro	120
SP3	493.312	7.045.136	Piezómetro	120
SP4	505.242	7.051.538	Piezómetro	120
SP5	509.539	7.066.975	Piezómetro	120
SP6	502.423	7.038.647	Piezómetro	120
TP1	503.088	7.033.189	TEM	300
TP2	492.692	7.038.415	TEM	300
TP3	493.147	7.041.733	TEM	300
TP4	503.974	7.042.573	TEM	300
TP5	506.956	7.058.736	TEM	300
TP6	513.852	7.067.477	TEM	300
TP7	519.184	7.059.631	TEM	300
TP8	521.241	7.052.169	TEM	300
TP9	517.486	7.042.627	TEM	300
NTP10	510.993	7.068.319	NanoTEM	60
NTP11	492.686	7.038.763	NanoTEM	60
NTP12	503.228	7.033.530	NanoTEM	60

FIGURA 10.2.21
PROSPECCIONES PROPUESTAS EN CUENCA SALAR DE PEDERNALES



10.2.6. Cuenca N° 14. Laguna Verde

a) Acuíferos

La cuenca de Laguna Verde posee un área de 1.004 km^2, se encuentra en el límite con Argentina, y posee elevaciones entre 4.337 m s.n.m. en la Laguna Verde y 6.872 m s.n.m. en el volcán Ojos del Salado, una de las cumbres más altas de Sudamérica; la elevación media de la cuenca es de 4.915 msnm.

Los principales estudios desarrollados en esta cuenca corresponden a la REF-17 EIA Optimización Proyecto Minero Cerro Casale, 2011, MWH Chile y REF-34 Hidrogeología de la cuenca campo de Piedra Pómez-Laguna Verde, SERNAGEOMIN, 2006. Importante es destacar que en esta cuenca se realizaron, como parte del presente estudio, prospecciones geofísicas correspondientes a TEM.

Está caracterizada por un importante desarrollo de relleno debido a la presencia de estructuras, de orientación Noroeste-Sureste y Noreste-suroeste, que provocaron la subsidencia de la cuenca, generando espesores estimados que superan los 300 m. Los depósitos corresponden, de base a techo, a gravas antiguas (Terciario), tobas de ceniza vítrea con líticos con interestratificaciones de gravas y arenas, que en su conjunto pueden ser asociadas a la Ignimbrita Laguna Verde, y finalmente depósitos cuaternarios de gravas y arenas.

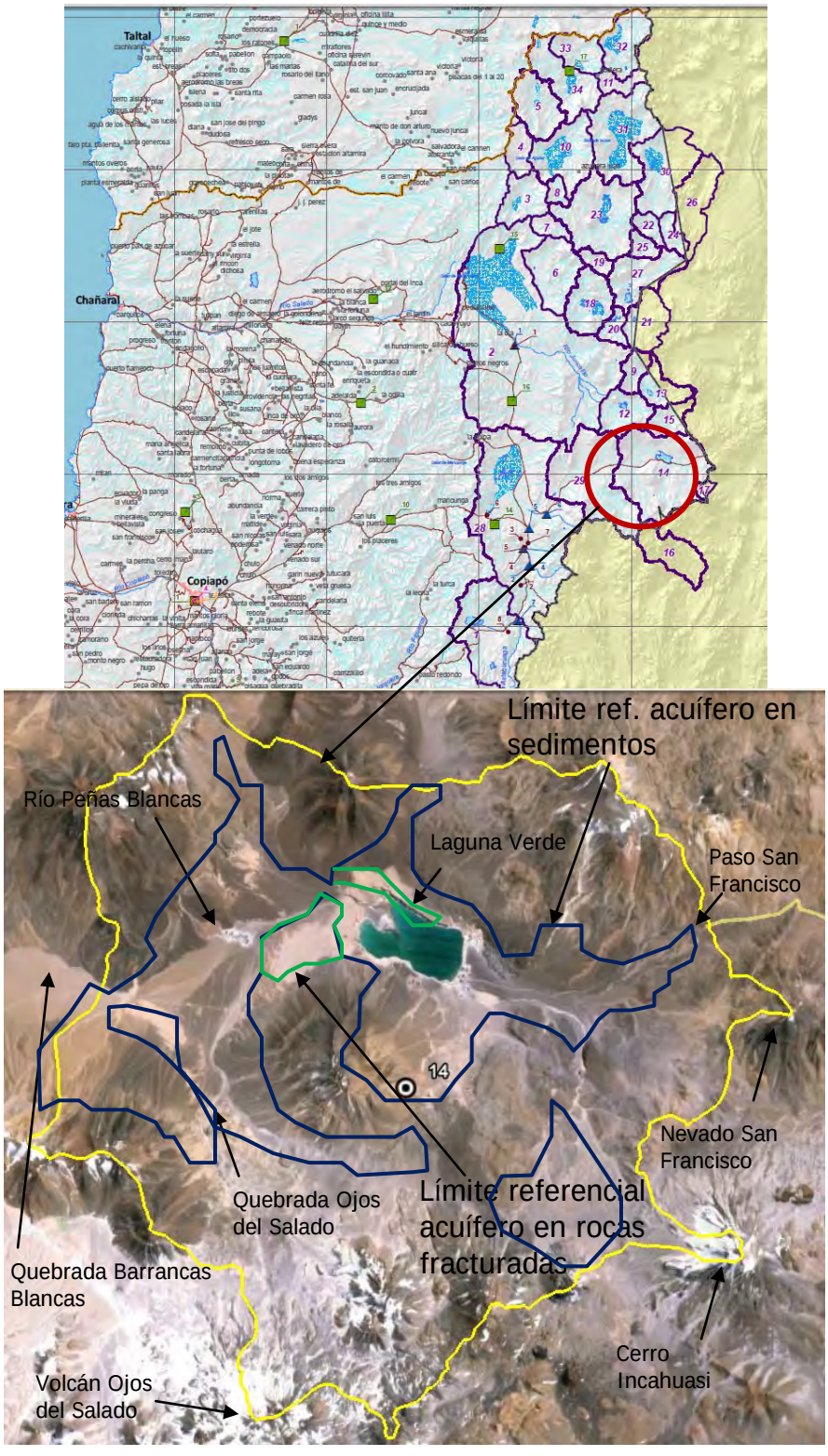
Las unidades litológicas parecen tener una buena continuidad lateral a lo largo de toda la cuenca. Las estructuras de orientación Noroeste-Sureste provocan quiebres en la profundidad de las unidades ignimbríticas y definen la morfología de la Laguna Verde, mientras que las de orientación SSO-NNE generan una mayor subsidencia de la cuenca de relleno por el Sur dando origen a espesores de relleno del orden de 600 m, identificados gravimétricamente hacia el borde Norte de la laguna. Todos los límites de la cuenca están caracterizados por la presencia de aparatos volcánicos en general de carácter andesítico, del Mioceno Superior y Plioceno Inferior.

En ésta cuenca se encuentra el río Peñas Blancas, que nace de una serie de vertientes que cubren un área de casi 1 km^2 y finaliza su recorrido en la Laguna Verde, la que no posee cauces de descarga, dando el carácter de endorreica a la cuenca Laguna Verde.

La laguna descansa sobra la Ignimbrita Laguna Verde, la que en los alrededores de la Laguna Verde y la quebrada Ojos del Salado, se le asocia un bajo potencial hidrogeológico ya que en general esta unidad se encuentra seca puesto que a su baja permeabilidad no sirve de conducto importante, para los flujos de recarga al acuífero, y que por lo tanto funciona como basamento impermeable para la acumulación y formación de la laguna homónima.

Las principales características presentes en la cuenca se observan a continuación en la Figura 10.2-22.

FIGURA 10.2-22
CUENCA Nº 14. LAGUNA VERDE



Se presenta además en la Figura 10.2-23 el mapa hidrogeológico del SERNAGEOMIN, 2006. Las unidades hidrogeológicas presentes en esta cuenca son:

Los depósitos de alta importancia hidrogeológica, litológicamente está formada por gravas y arenas polimícticas, de origen principalmente volcánico, en una matriz de arenas finas y limos. Presenta una baja compactación y cementación. Se extiende en superficie sobre casi toda el área de estudio. Corresponde a una unidad acuífera freática, fuertemente estratificada, que recibe la recarga de la cuenca especialmente en zonas altas y durante la época de deshielo. Incluye a acuíferos intergranulares desarrollados en depósitos aluviales del Pleistoceno Cuaternario (PlQa) y aluviales del Plioceno-Pleistoceno (PliPla).

Los depósitos con importancia media a baja, consisten en acuíferos intergranulares locales, con productividad moderada, equivalentes a los depósitos volcanoclásticos del Plioceno-Cuaternario (PliQvc), piroclásticos del Plioceno y Cuaternario (PliQp), los depósitos ignimbríticos del Cuaternario (Qi), coluviales y de remoción en masa del Cuaternario (Qc) y los depósitos salinos del Cuaternario (Qs).. Además comparten esta clasificación depósitos de ignimbritas riolíticas, con diferentes grados de compactación, con intercalaciones de oleadas piroclásticas, así como dacitas medianamente fracturadas. Se encuentra asociada a los flujos de Ignimbrita Laguna Verde. Recibe recarga por escurrimiento superficial, asociada al derretimiento de nieve, y por flujo subterráneo. Posee permeabilidad primaria por enfriamiento (estructuras de disyunción columnar y desgasificación), por porosidad de pómez y permeabilidad secundaria por fracturamiento y erosión.

Las unidades con baja a nula importancia hidrogeológica corresponden a las lavas del Plioceno y Cuaternario (PliQv), y reciben esta clasificación debido a su alta densidad, bajo fracturamiento, a que se encuentran afectadas por plegamientos y a que en superficie reciben una escasa recarga debido a su fuerte pendiente.

Las formaciones que poseen una nula importancia hidrogeológica, clasificándose como acuífugos o acuícludos, corresponden a los domos del Terciario y Cuaternario (PzQ(a)) y las lavas del Mioceno (PzQ(b)).

En la Figura 10.2-24, se presenta el perfil hidrogeológico PH6, desarrollado en el EIA de Cerro Casale, 2011. De techo a base se identifican las siguientes unidades: arenas y gravas superficiales (PlQa) Plioceno superior - Cuaternario. A continuación, una toba vítrea, la Ignimbrita Laguna Verde (Pliilv) del Plioceno inferior. Bajo esta, una toba de ceniza vítrea con líticos, asociada a una Ignimbrita indiferenciada del Plioceno inferior (Pliilv). Intercalada, se observan arenas y gravas interestratificadas del Plioceno superior-cuaternario (Qa). Bajo este paquete superior, por el borde occidental del perfil, se observan andesitas microcristalinas, propias de las Volcanitas del Plioceno inferior (Pliv). En la zona central del perfil aparecen gravas y arenas subordinadas del Oligoceno-Plioceno (Tac). Y en el zona oriental del perfil aparecen

andesitas del Mioceno Superior (Msv). En la base de toda la secuencia se aprecian rocas volcánicas indiferenciadas del Terciario.

FIGURA 10.2-23
MAPA HIDROGEOLÓGICO LAGUNA VERDE.
FUENTE: MODIFICADO SERNAGEOMIN, 2006

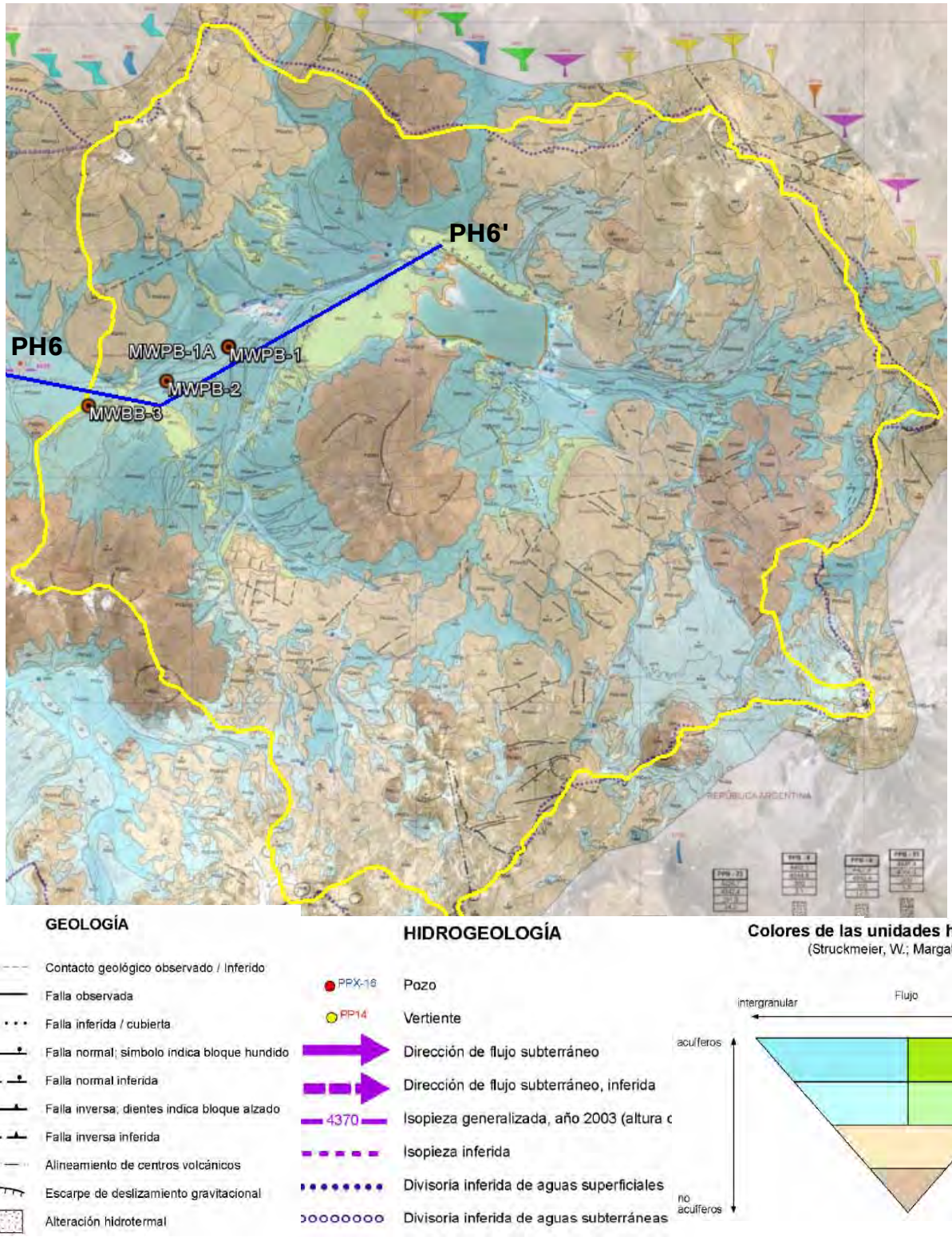
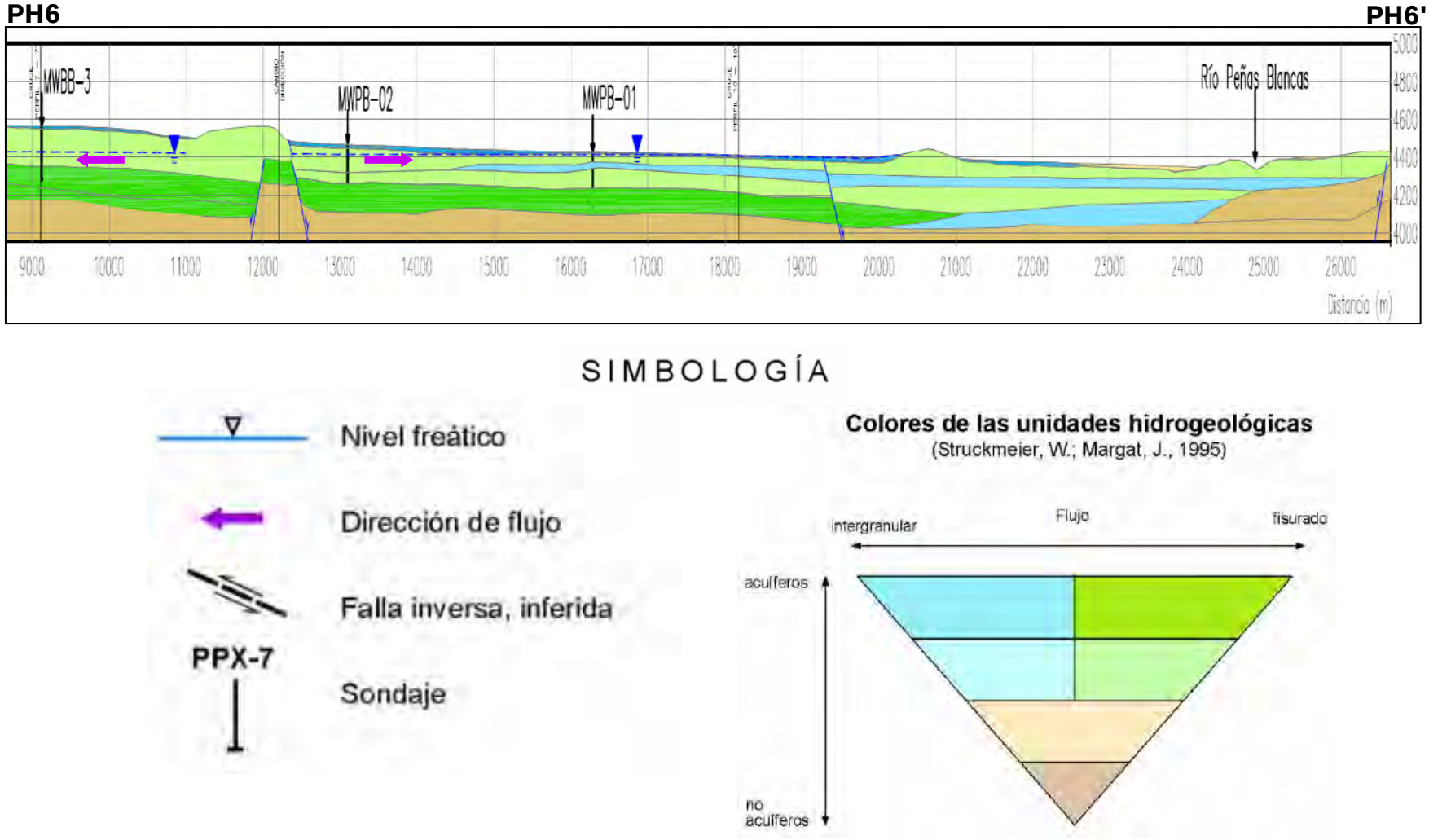


FIGURA 10.2-24
PERFIL HIDROGEOLÓGICO PH6, FUENTE: EIA CERRO CASALE, 2011



b) Exploración Geofísica

En esta cuenca se han realizado estudios geofísicos en la porción centro occidental de esta. Desde el límite de las cuencas Piedra Pómez y Laguna Verde (algunos perfiles parten desde la primera para terminar en la segunda) hasta el borde de la laguna.

Los métodos practicados corresponden a perfiles gravimétricos realizados por el SERNAGEOMIN, 2007, perfiles TEM y perfiles gravimétricos presentados en el EIA de Cerro Casale, 2011. La ubicación de estos perfiles se presenta en la Figura 10.2-25.

En particular el estudio gravimétrico realizado por el SERNAGEOMIN, 2007, entrega un mapa de anomalías gravimétricas en escala de Miligales (Mgal), por lo que, preliminarmente, aporta una aproximación de las zonas en el que el basamento se encuentra somero o profundo, indicando además los límites de compartimientos hidrogeológicos o separaciones de cuenca cuando se encuentran presentes, pero no se invierten los valores gravimétricos para ser interpretados como un mapa de isopacas.

En el estudio del SERNAGEOMIN, 2007, se hace referencia a que el basamento impermeable en esta zona es un pequeño afloramiento de rocas paleozoicas al norte de la Laguna Verde. Esto podría indicar la existencia de rocas impermeables en la base de la cuenca, pero no se conoce la profundidad de las mismas.

De acuerdo a los perfiles TEM y gravimétricos desarrollados por Cerro Casale, se infiere que el espesor asignado a los sedimentos en esta cuenca es en promedio de 30 m, para los depósitos superficiales y de 70 m, en promedio, para los sedimentos más antiguos, que se encuentran intercalados con secuencias volcánicas en el relleno de la cuenca.

Adicionalmente, en esta cuenca, como parte de los trabajos de terreno complementarios en este estudio, se midieron en terreno 7 estaciones TEM, los que permiten obtener información de la estratigrafía y nivel en zonas sin información, como la quebrada Ojos del Salado, el arroyo de Agua Dulce y el área de Peñas Blancas. En el Anexo 10-1 se incluye en detalle el trabajo efectuado por la empresa Geodatos.

Las unidades resistivas definidas por Geodatos corresponden a:

- **Unidad Alta Resistividad:** Se observa en todas las estaciones una unidad somera de gran potencia altamente resistiva, con valores en torno a los 1000 [Ohm-m] y superior. Este dominio, según la geología local de la zona (no de detalle), pudiera corresponder Depósitos aluviales y coluviales del Cuaternario, secos y de diversas granulometrías.

- **Unidad Media - Baja Resistividad:** Se aprecia un segundo dominio relativamente más conductor que la primera unidad antes descrita. Esta presenta resistividades del orden de los 10 [Ohm-m]. El techo de esta unidad depende de la estación a analizar, pero pudiera asociarse a depósitos saturados correspondientes a flujos piroclásticos (Ignimbrita) más permeables. Se observa claramente en las estaciones 4-5-11-12, con potencias que difieren entre sí (entre 20 y 40 metros) pudiendo conformar un nivel acuífero*.*

- **Unidad Media Resistividad**: Se observa esta unidad a profundidad intermedia, de mediana resistividad con valores en torno a los 100 [Ohm-m], en el caso de las estaciones 13 y 14, éste dominio corresponde a la segunda unidad identificada. Esta unidad pudiera asociarse a un flujo piroclásticos de diferentes características al anteriormente descrito, dada las intercalaciones que conformarían dicho dominio, lo que debe ser analizado de forma individual para cada estación, considerando la geología de detalle.

- **Unidad de Baja Resistividad:** Esta unidad comparativamente más conductora, presenta resistividades del orden de los 10 [Ohm-m] y el techo fluctúa entre los 180 – 240 metros de profundidad, y se extiende hasta la profundidad de investigación alcanzada. Pudiera relacionarse con presencia de Roca basal altamente fracturada / alterada y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados por posible presencia de agua con mayor contenido de sales disueltas.

De las 6 estaciones TEM medidas en la cuenca Laguna Verde, se observa que 4 de ellas (10, 12, 13 y 14) se ubican en sectores donde no existían antecedentes geofísicos, mientras que las estaciones 5 y 11 se encuentran cercanos a la traza de perfiles gravimétricos desarrollados por Cerro Casale, 2011, y la estación 4 se ubica aledaña a perfiles gravimétricos de SERNAGEOMIN, 2010, y de Cerro Casale, 2011 y a un perfil TEM de Cerro Casale, 2011.

Se describen las 4 estaciones ubicadas en zonas sin información geofísica. Las estaciones 10 / 12, presentan estratigrafías similares pero con distintas potencias de sus estratos. Ubicada en el sector de Peñas Blancas (10) y al sureste de la Laguna Verde, aledaña al Arroyo Agua Dulce (12), reportan desde techo a base, aproximadamente 90 m / 40 m de depósitos aluviales y coluviales secos, le siguen primero 70 m / 30 m (y luego de una intercalación viene otro paquete de 40 m / 270 m) de depósitos saturados correspondientes a flujos piroclásticos (ignimbritas) permeables.

A continuación, intercalados a los depósitos anteriores se observan 60 m / 10 m de flujos piroclásticos de diferentes características. Finalmente, desde los 260 m b.n.s.

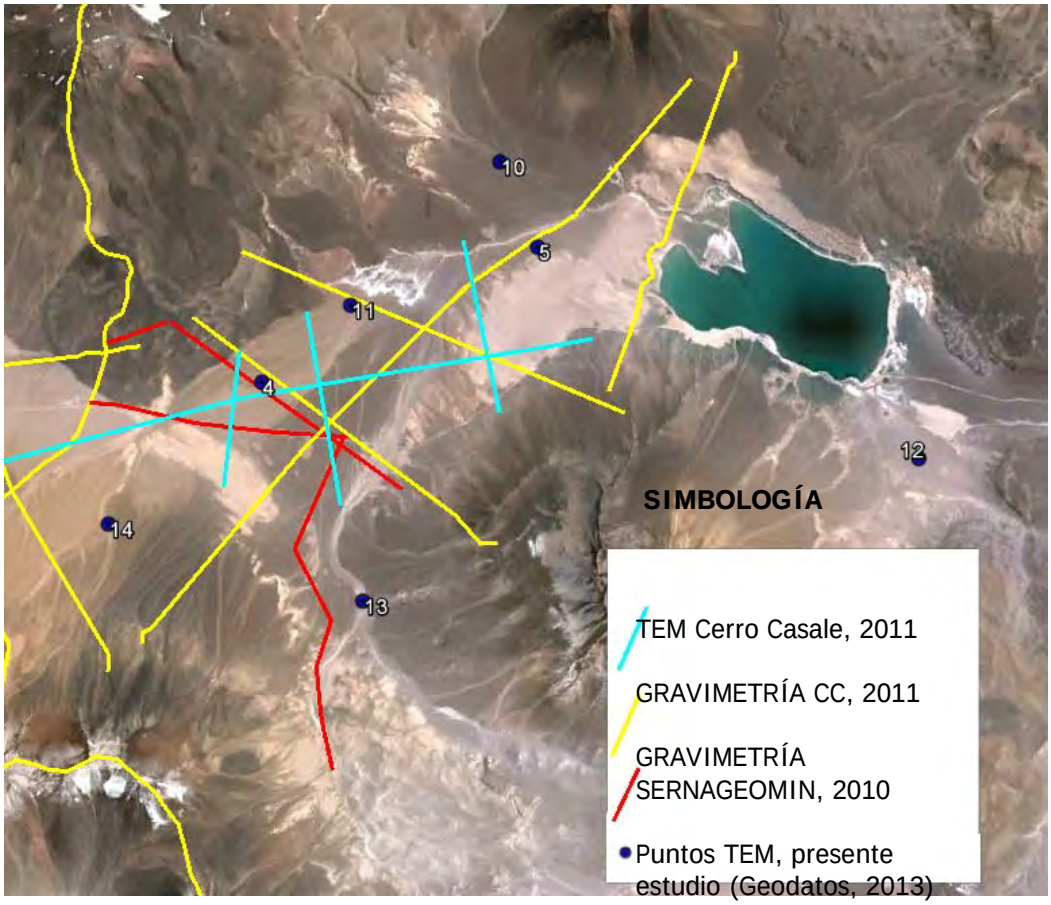
en ambas estaciones, con un espesor mínimo de 140 m, se observan rocas volcánicas alteradas/fracturadas y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados.

La estación 13, ubicada en la quebrada Ojos del Salado, presenta desde la superficie aproximadamente 60 m de depósitos aluviales y coluviales secos, le siguen 100 m de depósitos saturados correspondientes a flujos piroclásticos (ignimbritas) permeables. Finalmente, desde los 160 m b.n.s. con un espesor mínimo de 140 m, se observan rocas volcánicas alteradas/fracturadas y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados.

Se observa en la estación 14, desde el techo a base, aproximadamente 15 m de depósitos aluviales y coluviales secos, le siguen 165 m de depósitos saturados correspondientes a flujos piroclásticos (ignimbritas) permeables. A continuación, se observan 60 m de flujos piroclásticos de diferentes características. Finalmente, desde los 240 m b.n.s., con un espesor mínimo de 160 m, se observan rocas volcánicas alteradas/fracturadas y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados.

De las estaciones descritas previamente se indica que proveen con información que asocia valores de resistividad a las unidades hidrogeológicas que pueden corresponder a acuíferos de buenas características hidráulicas y como estas se encuentran en superficie, como en profundidad para cada estación geofísica TEM.

FIGURA 10.2-25
INFORMACIÓN GEOFÍSICA PRESENTE EN LA CUENCA LAGUNA VERDE



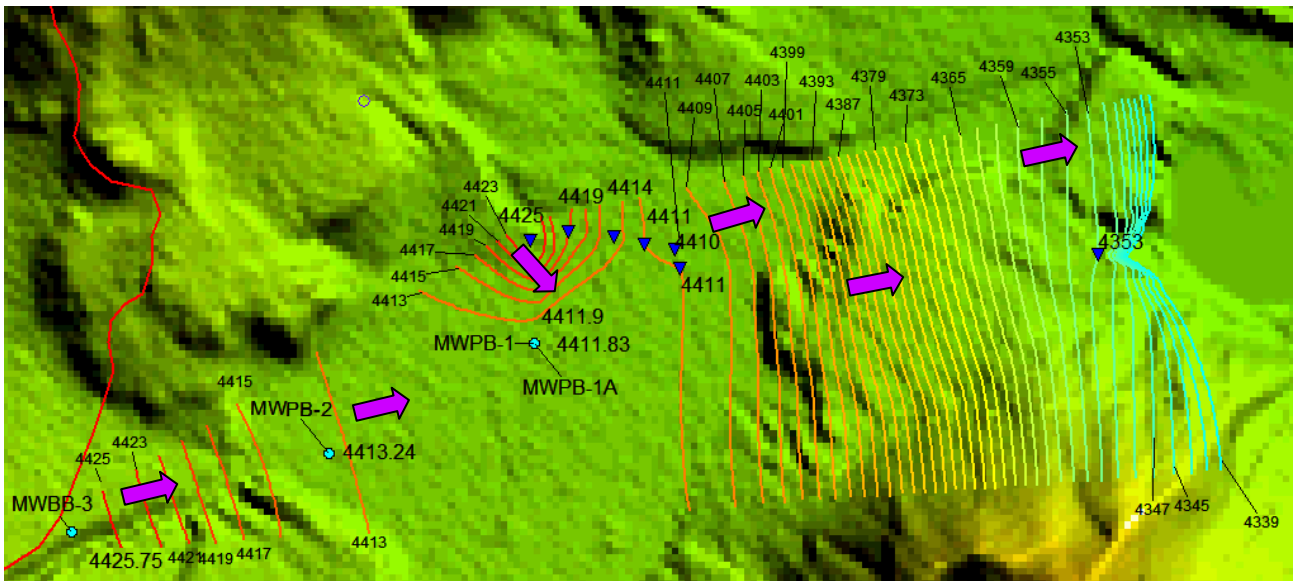
c) Niveles de Aguas Subterráneas

En la cuenca Laguna Verde, sólo se cuenta con información de 4 pozos, el MWPB-1, con su pozo de observación MWPB-1A (ubicado a sólo 10 m de distancia) y los pozos MWPB-2 y MWBB-3.

Adicionalmente se cuenta con información de las cotas donde existe afloramiento de agua subterránea en las vertientes que corresponden a las nacientes del río Peñas Blancas, las que se ubican en un área de 1 km^2, y también se utiliza la cota de la Laguna Verde para la construcción de las isopiezas, las que se presentan en la Figura 10.2-26 (curvas cada 2 m).

Las direcciones de flujo resultantes indican un sentido de escurrimiento suroeste-noreste, en la zona de los pozos, hasta la zona de las vertientes del río Peñas Blancas, donde se observa un flujo radial con componente principal noroeste-sureste para luego seguir con un escurrimiento prácticamente oeste-este hasta alcanzar la Laguna Verde.

FIGURA 10.2-26
PIEZOMETRÍA DE LA CUENCA LAGUNA VERDE



SIMBOLOGÍA

- Pozos con nivel. EIA Cerro Casale, 2011
- Vertientes, cotas obtenidas en Google Earth
- Límite de la cuenca Laguna Verde
- Dirección del flujo subterráneo

d) Constantes Elásticas

En esta cuenca no se han realizado pruebas de bombeo pero en la cuenca adyacente de Piedra Pómez se tienen antecedentes que son extrapolables por la similitud de los acuíferos que se encuentran en ambas cuencas.

El pozo más cercano que cuenta con datos de constantes elásticas es el PPB-18 (Figura 10.2-27), ubicado a 3,2 km de la cuenca, de donde se obtuvo un valor de transmisividad para los depósitos aluviales de 3.300 m^2/d, según el método de Recuperación de Theis Jacob, por lo que se presume un valor de T de ese orden para los depósitos presentes en la cuenca Laguna Verde.

Con respecto a los acuíferos más profundos, el presente en rocas fracturadas/alteradas y el alojado en sedimento antiguos, estos poseen características locales de confinamiento y porosidad primaria y secundaria que no pueden ser traslapadas a los pozos presentes en las cuencas vecinas.

Con respecto al coeficiente de almacenamiento tampoco se cuenta con datos al no tener información de una prueba de bombeo en la cuenca. Como referencia se tiene el S calculado en la cuenca de Piedra Pómez en el EIA de Cerro Casale, 2011, el cual fluctúa entre 0,03 y 0,06, lo que es consistente con la presencia de un acuífero freático a semi-confinado conformado por unidades clásticas y en rocas fracturadas.

FIGURA 10.2-27
UBICACIÓN POZO PPB-18



e) Volúmenes Embalsados

En esta cuenca se cuenta con la información presentada en el EIA de Optimización del proyecto minero Cerro Casale, 2011. En particular se tiene información de 4 pozos (MWPB- 1, 1A, 2 y MWBB-3), cuya estratigrafía se resume en el perfil hidrogeológico PH6-PH6'. En este perfil se observa la presencia de una capa superficial de sedimentos de espesor saturado medio de 20 m, la que se encuentra parcialmente saturada y que posee una alta importancia hidrogeológica. Bajo ella se observa una secuencia de ignimbritas riolíticas de importancia hidrogeológica media. Por debajo de ésta se presentan rocas volcánicas fracturadas que poseen una alta importancia hidrogeológica. Intercalada entre estas unidades, se observan depósitos sedimentarios volcanoclásticos de importancia hidrogeológica media. La potencia media que se le asigna al resto de las unidades que subyacen los sedimentos superficiales se estima en 300 m.

Para efectos del cálculo del volumen embalsado, este será dividido en los sedimentos superficiales, que conforman un acuífero freático, y las rocas y sedimentos que lo subyacen, los que presentan características de acuíferos semi confinados a confinados. Así los coeficientes de almacenamiento obtenidos en la cuenca de Piedra Pómez y que son traslapados a esta cuenca, corresponden en 6% para el acuífero

freático y de 0,3% para el acuífero presente en las rocas fracturadas y sedimentos confinados.

La superficie de los sedimentos superficiales que se encuentran en la cuenca de Laguna Verde poseen un área de 390,7 km^2. Para la superficie que abracan las rocas fracturadas, al área de los sedimentos, se le agrega además las zonas donde aflora la roca fracturada correspondientes a 40,91 km^2 totalizando así 431,61 km^2.

De esta forma los volúmenes almacenados obtenidos para los sedimentos superficiales y para las rocas fracturadas y sedimentos volcanoclásticos confinados corresponden a: 469 Mm^3 y 3.885 Mm^3 respectivamente. Totalizando así un volumen embalsado para la cuenca Laguna Verde de: 857,3 Mm^3. Los valores utilizados para estos cálculos se presentan en el Cuadro 10.2-22.

CUADRO 10.2-22
VOLUMEN DE AGUA EMBALSADA CUENCA LAGUNA VERDE

Espesor saturado (m)	Superficie (m^2)	Coeficiente de Almacenamiento	Volumen Almacenado (m^3)	Sector
20	390.700.000	0,06	468.840.000	Acuífero freático
300	431.610.000	0,003	388.449.000	Acuífero semiconfinado
			857.289.000	**Total**

De acuerdo a los antecedentes disponibles y a la geofísica generada en este estudio, se recomienda la realización de estudios complementarios que permitan caracterizar de mejor medida la piezometría presente tanto en el acuífero superficial como en el acuífero semi confinado profundo. Por lo que se sugiere la medición de estaciones geofísicas TEM y NanoTEM, además de la perforación de piezómetros exploratorios de radio reducido.

En particular se propone la perforación de 5 piezómetros con profundidades que van desde los 50 hasta los 200 m, que cumplen objetivos de caracterizar los sedimentos y la piezometría superficial, las rocas fracturadas, y en los sondajes más profundos alcanzar los sedimentos semi confinados a confinados y comprobar su saturación y piezometría.

La geofísica recomendada consiste en la medición de 4 estaciones del tipo TEM y 7 estaciones NanoTEM, las que cumplen funciones exploratorias, previas a la perforación de los sondajes, que permiten dilucidar la profundidad del nivel y de los niveles permeables/saturados/alterados identificados en las previas campañas geofísicas. La ubicación y profundidad de las prospecciones se presentan en el Cuadro 10.2-23.

CUADRO 10.2-23
PIEZÓMETROS Y GEOFÍSICA TEM Y NANOTEM PROPUESTA EN LA CUENCA LAGUNA VERDE

Piezómetros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Tipo	Profundidad (m)
SLV1	562.756	7.023.252	Piezómetro	100
SLV2	556.471	7.022.842	Piezómetro	100
SLV3	547.041	7.027.199	Piezómetro	180
SLV4	542.033	7.019.209	Piezómetro	200
SLV5	540.746	7.027.756	Piezómetro	50
TLV1	562.503	7.023.086	TEM	300
TLV2	562.594	7.012.567	TEM	300
TLV3	552.409	7.033.468	TEM	300
NTLV4	556.616	7.024.768	NanoTEM	60
NTLV5	541.217	7.027.267	NanoTEM	60
NTLV6	546.449	7.028.412	NanoTEM	60
TLV7	547.712	7.026.295	TEM	300
NTLV8	551.771	7.025.296	NanoTEM	60
NTLV9	544.353	7.008.385	NanoTEM	60
NTLV10	552.040	7.013.647	NanoTEM	60
NTLV11	561.818	7.017.153	NanoTEM	60

En la Figura 10.2-28, se presenta la ubicación de las prospecciones propuestas, además de los sectores donde se encuentra el relleno en contacto con la roca, y las superficies donde aflora la roca con importancia hidrogeológica media/alta.

FIGURA 10.2-28
UBICACIÓN DE LAS PROSPECCIONES PROPUESTAS Y LOS SECTORES DE RELLENO / ROCA FRACTURADA EN LA CUENCA DE LAGUNA VERDE



10.2.7. Cuenca N° 29. Quebrada Nevados de Juncalito (Piedra Pómez)

a) Acuíferos

Los principales estudios desarrollados en esta cuenca corresponden a la REF-17 EIA Optimización Proyecto Minero Cerro Casale, 2011, MWH Chile, REF-34 Hidrogeología de la cuenca campo de Piedra Pómez-Laguna Verde, SERNAGEOMIN, 2006 y REF-36 Hidrogeología campo de Piedra Pómez, EDRA S.A.

El sistema acuífero de Piedra Pómez se desarrolla a lo largo de la Quebrada Piedra Pómez y la Pampa Barrancas Blancas. Superficialmente, limita al Sur con la cuenca hidrológica de Río Lamas y hacia el este con la cuenca hidrológica de la Laguna Verde. La planicie que conforma el sistema acuífero tiene una dimensión total de aproximadamente 250 km^2. La dimensión de la cuenca completa es de 916 km^2, con una cota media de 4.911 msnm. En la Figura 10.2-29 se observa la ubicación de la cuenca y los principales sectores de esta.

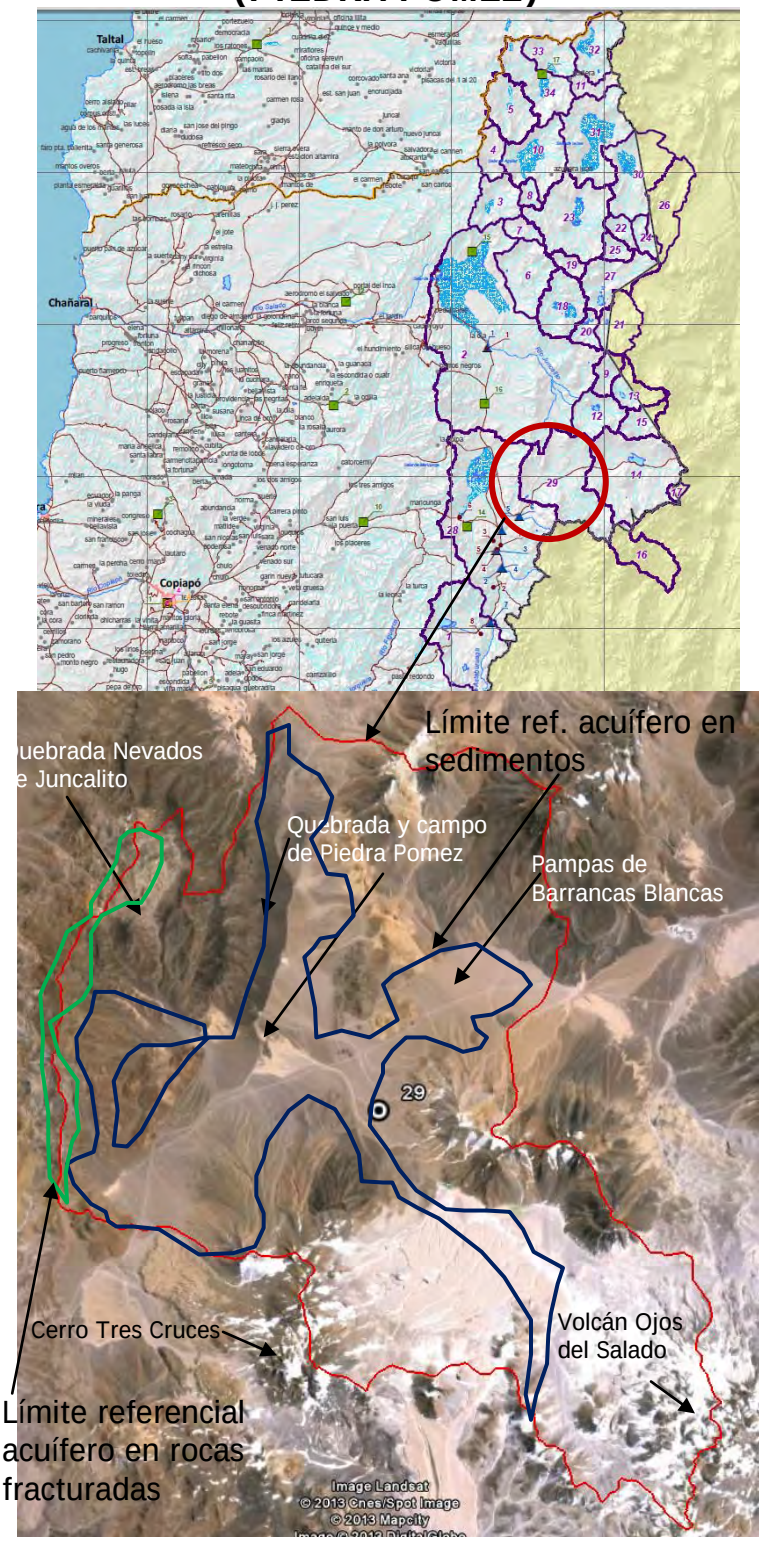
El sector de Piedra Pómez está caracterizada por la presencia de una cuenca de relleno con orientación Norte-Sur por el Norte y NNE-SSO por el Sur, cuyo basamento, en la parte Norte está representado por las rocas andesíticas oligocenas de los estratos de Claudio Gay, que afloran en superficie en la parte central de la cuenca.El basamento, en la parte Sur, corresponde a rocas oligocenas y dacitas paleozoicas de la Formación Pantanoso. Estos paleo-valles han sido rellenados por espesores de cerca de 300 m en promedio de sedimentos de gravas y arenas así como depósitos ignimbríticos asociados con la Ignimbrita Laguna Verde y/o Ignimbrita Juncalito, que subyacen a los depósitos de gravas y arenas actuales.

Por el Sur, depósitos de andesitas pliocenas cierran el borde este de la cuenca, mientras que domos dacíticos del Cuaternario y Plioceno Superior definen el fin de la cuenca geológica hacia el Sur. La separación entre Piedra Pómez y Barrancas Blancas está definida por la presencia de las rocas oligocenas de la Cordillera de Claudio Gay.

La zona de Barrancas Blancas está caracterizada por una cuenca de relleno de amplia extensión y espesor importante (cerca de 300 m), cuyos límites están asociados a fallas de tipo normal conjugadas, orientadas Noroeste-Sureste, y Noreste-Suroeste. Los depósitos tienen buena continuidad a lo largo de la cuenca y corresponden, desde base a techo, a gravas y arenas antiguas, tobas de ceniza cristalina, andesitas, tobas de ceniza vítrea, y finalmente arenas y gravas cuaternarias. Hacia el Oeste estos depósitos están en contacto por falla con rocas dacíticas miocenas, mientras que hacia el Este, Norte, y Sur, con los aparatos volcánicos del Plioceno y Mioceno Superior característicos esta zona. Cerca de 2 km al Este del límite hidrológico con la cuenca de Laguna Verde, la presencia de una falla normal define el cierre de la cuenca geológica.

El sector de Piedra Pómez no tiene cursos superficiales de agua y sólo se observan pequeños cauces secos, de escurrimiento esporádico durante eventos extremos de precipitación de lluvia y/o nieve.

FIGURA 10.2-29
CUENCA Nº 29. QUEBRADA NEVADOS DE JUNCALITO (PIEDRA PÓMEZ)



Los principales recursos subterráneos se albergan en el campo de Piedra Pómez, pampas de Barrancas Blancas, Peñas Blancas, el llano Tres Cruces y el llano del Fraile. El área con mayor importancia hidrogeológica incluye acuíferos intergranulares desarrollados en depósitos sedimentarios aluviales del Pleistoceno-Cuaternario (PlQa) y aluviales del Plioceno-Pleistoceno (PliPla).

Los depósitos con importancia hidrogeológica media a baja corresponden a acuíferos intergranulares, locales, con productividad irregular. Se trata de los depósitos volcanoclásticos del Plioceno-Cuaternario (PliQvc), piroclásticos del Plioceno y Cuaternario (PliQp), los depósitos ignimbríticos del Cuaternario (Qi), coluviales y de remoción en masa del Cuaternario (Qc) y los depósitos salinos del Cuaternario (Qs).

Los acuíferos con bajo potencial hidrogeológico corresponden a lavas del Eoceno-Mioceno (EMv), lavas del Plioceno y Cuaternario (PliQv) y depósitos lacustres del Cuaternario (Ql), con ocurrencia local de acuíferos libres, de espesor moderado.

Los depósitos con moderada importancia hidrogeológica en rocas fisuradas corresponden a los constituidos por rocas sedimentarias del Eoceno-Mioceno (EMs), situados debajo de los depósitos volcánicos de la misma edad en la Cordillera Claudio Gay, al noroeste de la cuenca. Se encuentran, probablemente, como acuíferos libres y semi confinados.

Los acuíferos con moderada a alta importancia hidrogeológica en rocas fisuradas, corresponden a la denominada Ignimbrita Laguna Verde, del Plioceno Inferior (Pliilv), que en la cuenca de estudio se encuentra en el sector occidental de la cuenca, en el sector del campo de de Piedra Pómez, encontrándose cubierta por depósitos aluviales (PlQa y PliPla). Posiblemente, correspondan a acuíferos libres y/o confinados con permeabilidades primarias por fracturas de enfriamiento y por porosidad producto a la presencia de pómez y secundarias por fracturamiento y erosión.

Los acuíferos de baja importancia hidrogeológica o acuícludos, los que corresponden a domos del Terciario y Cuaternario (PzQ(a)), lavas del Mioceno (PzQ(b)), intrusivos del Terciario (PzQ(c)), intrusivos del Paleozoico (PzQ(d)), sedimentitas del Paleozoico (PzQ(e)), lavas y brechas riolíticas del Paleozoico (PzQ(f)), que debido a su escaso fracturamiento presentan nula capacidad para almacenar y transmitir agua, constituyen el basamento impermeable.

En la Figura 10.2-30 se observa el mapa hidrogeológico del SERNAGEOMIN, 2006, donde se observan la traza de los perfiles y unidades hidrogeológicas, la traza de las isopiezas y las direcciones de flujo subterráneo.

En la Figura 10.2-31 se presentan los perfiles hidrogeológicos A-A'' del SERNAGEOMIN, 2006 y el perfil PH2, del EIA de Cerro Casale, 2011.

FIGURA 10.2-30
MAPA HIDROGEOLÓGICO. FUENTE: MODIFICADO SERNAGEOMIN, 2006

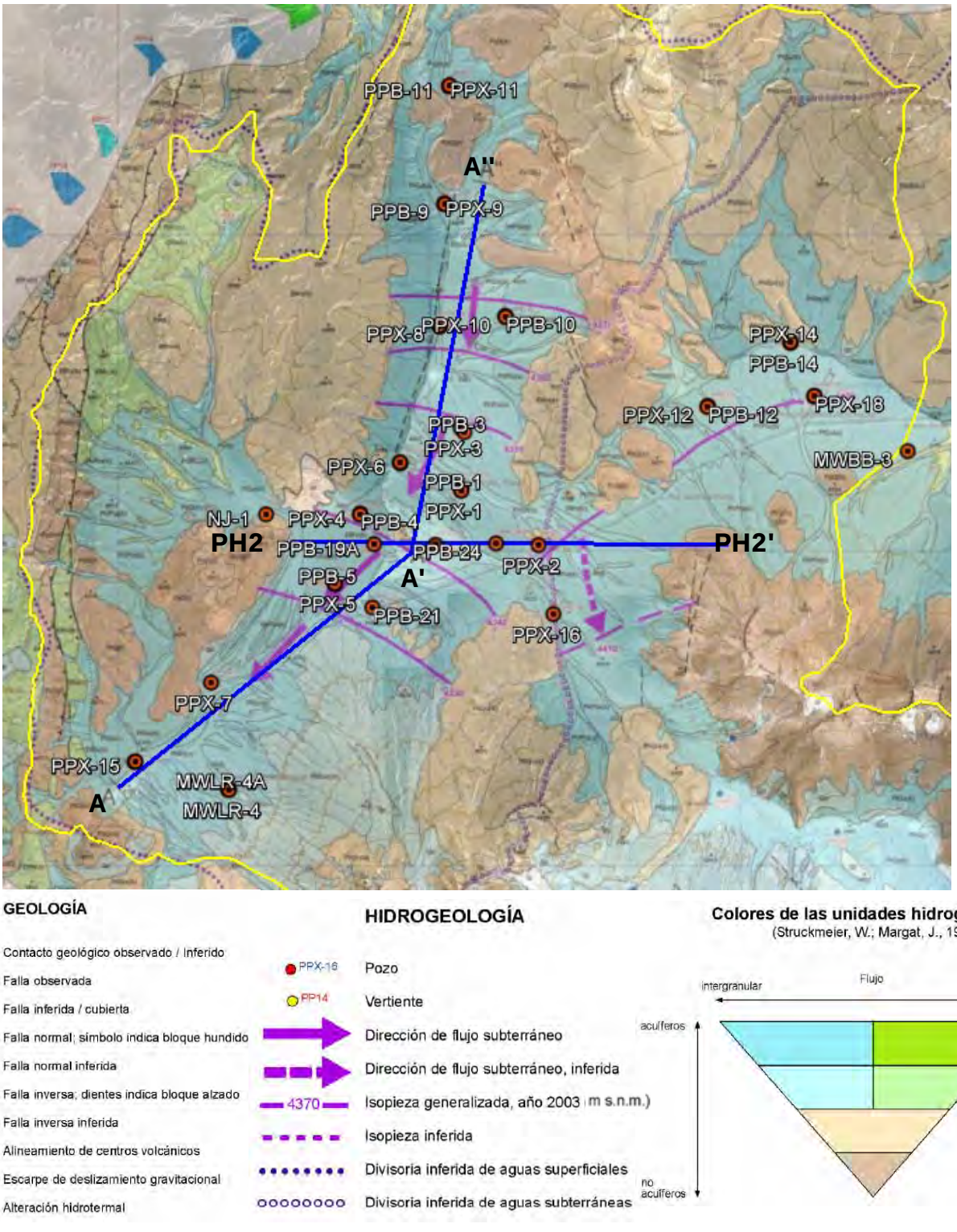
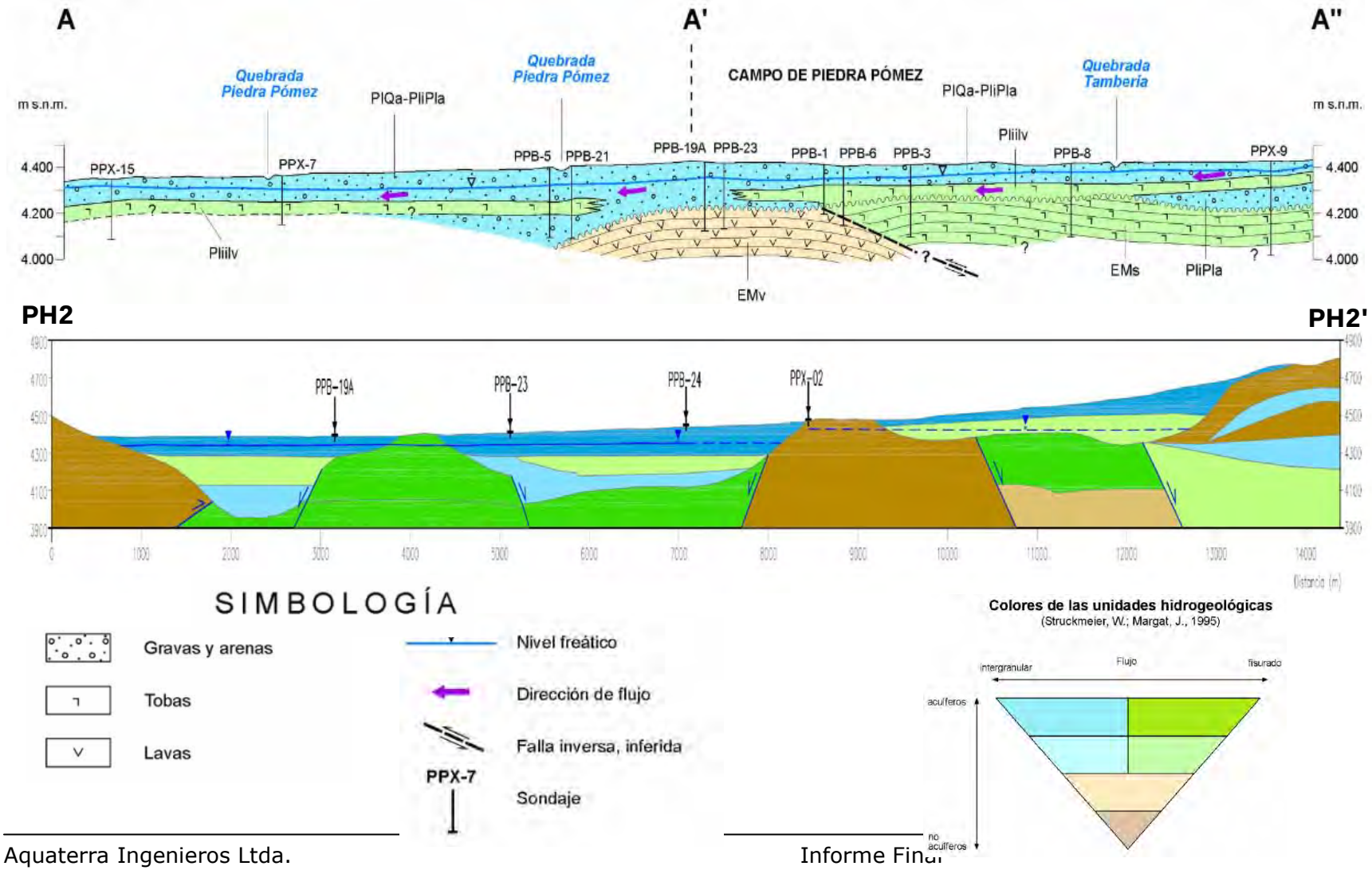


FIGURA 10.2-31
PERFILES HIDROGEOLÓGICOS. ARRIBA: A-A''. FUENTE: SERNAGEOMIN, 2006.
ABAJO: PH2, FUENTE: EIA CERRO CASALE, 2011



b) Exploración Geofísica

En la Figura 10.2-32 se presenta un mapa con las trazas de los perfiles gravimétricos realizados en la cuenca por el SERNAGEOMIN, 2006.

El mapa gravimétrico resultante de la interpolación de la información generada en los perfiles se reporta en el estudio del SERNAGEOMIN, 2006, en miligales (Mgal), por lo que permite hacerse una idea de las zonas en que el basamento se encuentra más o menos profundo, pero no se extrae fácilmente la información de la profundidad del basamento. Se ha estimado un espesor variable para el acuífero principal variable, entre 200 y 350 m.

Además se cuenta con información de 9 perfiles TEM (REF-36, EDRA, 1999) y de sondeos eléctricos verticales, SERNAGEOMIN, 2006.

De los métodos geofísicos practicados se observa un lineamiento norte-sur, que divide los campos de pozos ubicados en el campo Piedra Pómez con los que se encuentran en la pampa de Barrancas Blancas, conformado por anomalías gravimétricas residuales positivas (que indican un basamento somero). Los SEV practicados en este lineamiento, señalan la ausencia de acuíferos importantes, al menos hasta profundidades de 50-100 m.

Se observa además en el mapa gravimétrico, otra zona de basamento alzado que se ubica en la intersección de las quebradas Piedra Pómez y Barrancas Blancas, en donde la piezometría advierte un cambio de pendiente, lo que puede estar producido por la profundidad irregular del basamento.

En el EIA de Cerro Casale (CC), 2007, se realizaron diversos estudios geofísicos en la cuenca, en los que se cuentan perfiles gravimétricos, perfiles TEM y fuera de la cuenca un perfil NanoTEM. Las trazas de estos perfiles se observan a continuación en la Figura 10.2-28.

Adicionalmente, en esta cuenca como parte de los trabajos de terreno complementarios en este estudio, se midieron en terreno 4 estaciones TEM (3, 6, 15 y 16). En el Anexo 10-1 se incluye en detalle el trabajo efectuado por la empresa Geodatos.

Las unidades resistivas definidas por Geodatos corresponden a:

- **Unidad Alta Resistividad:** Se aprecia una unidad somera de gran potencia altamente resistiva, con valores en torno a los 1000 [Ohm-m]. Esta unidad, según la geología local de la zona, pudiera corresponder a Depósitos Volcánicos Secos de diferentes edades según el emplazamiento del sondeo (por ejemplo depósitos piroclásticos pumíceos en la estación 6, y derrubios asociados a complejos volcánicos y estratovolcanes, en la estación 3).

- **Unidad Media Resistividad:** Se observa un segundo dominio relativamente menos resistivo que el primero definido en el punto a). Este presenta resistividades del orden de los 100 [Ohm-m]. El techo de esta unidad depende de la estación a analizar, pero pudiera asociarse a depósitos de origen volcánico, pudiendo ser más permeables.

- **Unidad Baja Resistividad:** Esta unidad conductora se aprecia en ambas estaciones (3 y 6) a distintas profundidades pero con igual valor de resistividad, en torno a los 10 [Ohm-m]. Pudiera asociarse a un dominio correspondiente a Roca Basal altamente fracturada / alterada y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados.

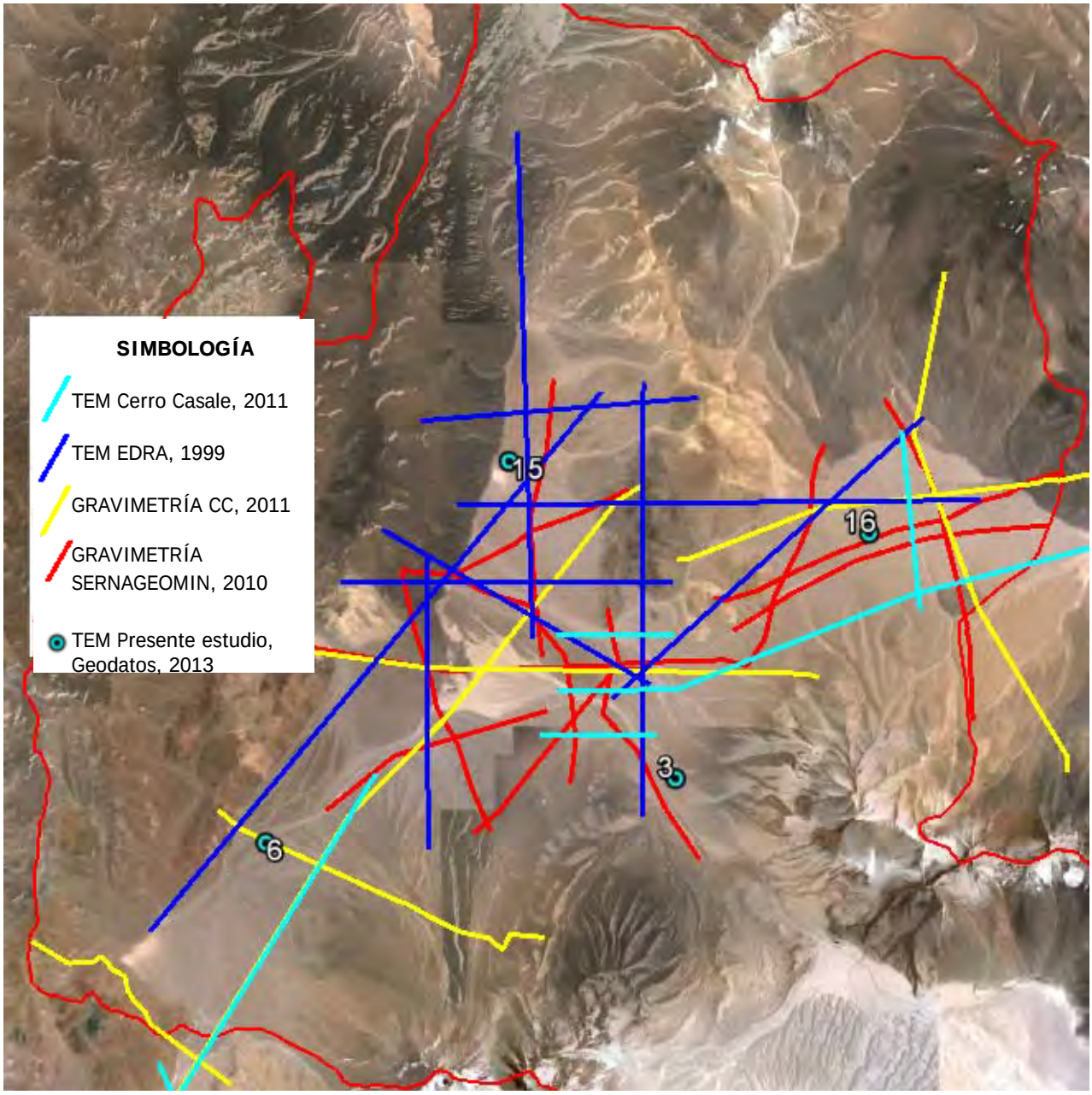
Las cuatro estaciones TEM medidas en la cuenca de Piedra Pómez (3, 6, 15 y 16), se encuentran rodeada de abundante geofísica. En particular las estaciones 3, 15 y 16 se ubican aledañas a perfiles gravimétricos del SERNAGEOMIN, 2010, y de perfiles TEM, EDRA, 1999. Mientras que la estación 6 se sitúa sobre un perfil gravimétrico de la compañía minera Cerro Casale, 2011.

En general en las 4 estaciones se observa la misma secuencia de unidades resistivas, interpretadas estratigráficamente por GEODATOS, como se mencionó previamente.

En superficie, aparece en las estaciones 3/6/15/16, 100/40/70/160 m respectivamente de depósitos volcánicos secos. Le siguen 200/170/70/150 m respectivamente de depósitos de origen volcánico más permeables que el anterior. Finalmente se observan 100/90/270/90 m respectivamente de rocas volcánicas alteradas/fracturadas y/o sedimentos consolidados húmedos/saturados.

Se observa una homogeneidad de las estaciones en cuanto a la presencia de las unidades resistivas/estratigráficas, lo que si se observa es una diferencia de espesor y profundidad de las distintas unidades, lo que confirma la compartimentación hidrogeológica de la cuenca, debido a la presencia de fracturas y fallas principales, que desvinculan algunos compartimientos con otros.

FIGURA 10.2-32
INFORMACIÓN GEOFÍSICA PRESENTE EN LA CUENCA PIEDRA PÓMEZ



c) Niveles de Aguas Subterráneas

Esta cuenca se divide en tres compartimentos principales, sector de Piedra Pómez (Norte, Sur) y sector de Barrancas Blancas.

El primer compartimento está conformado por el sector de Barrancas Blancas, cuyo límite occidental se localiza en una estructura de dirección aproximada N-S, ubicada entre los pozos PPX-2 y PPB-24. Este compartimento se evidencia principalmente por la diferencia de niveles piezométricos en ambas zonas de aproximadamente 70 m en una longitud de 2 km, registrándose niveles piezométricos menores en la zona de Piedra Pómez respecto de Barrancas Blancas (Figura 10.2-29), así como por la presencia de rocas andesíticas en superficie que de alguna forma definen el límite Oeste de este compartimento.

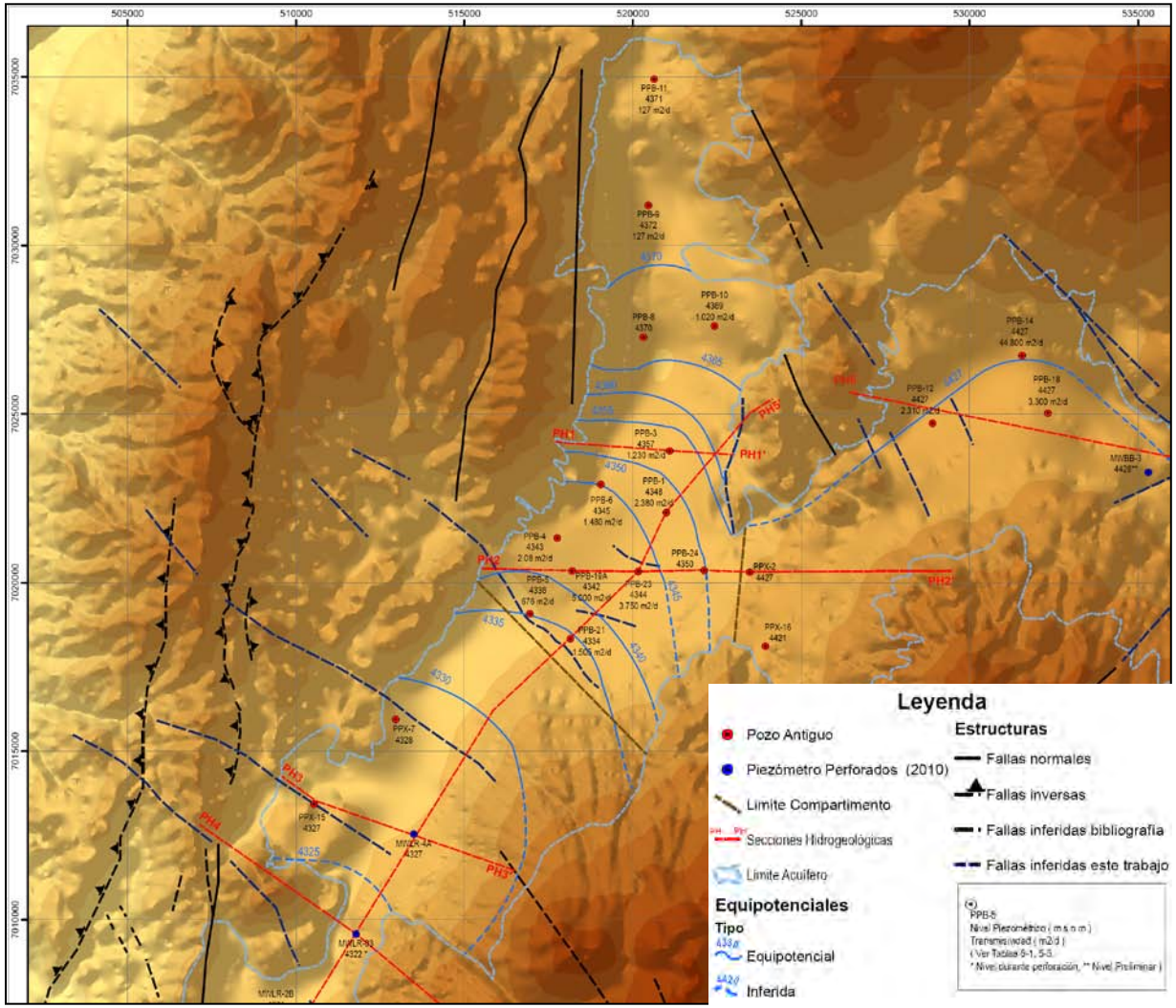
El sector de Piedra Pómez se puede subdividir en dos compartimentos, cuya divisoria se ubica inmediatamente al Sur de los pozos PPB-5 y PPB-21 (Figura 10.2-29) donde comienzan a registrarse rocas volcánicas andesíticas y dacíticas del Plioceno y más jóvenes. El compartimento Norte abarca la zona comprendida entre la parte alta de la cuenca de Piedra Pómez hasta el límite descrito. El compartimento Sur de Piedra Pómez abarca desde dicho límite al sector Sur de la cuenca, en el cual se produce un estrechamiento del acuífero producto de la presencia de depósitos volcánicos asociados al Macizo Tres Cruces, que en superficie se manifiestan como domos.

En el sector de Piedra Pómez se ha considerado que, en profundidad, el acuífero llega hasta la unidad geológica indiferenciada, ubicada bajo la andesita oligocena de los Estratos de Claudio Gay. Esta unidad, por su baja resistividad eléctrica se asume de baja permeabilidad y probablemente contenga agua salina, asociándose en algunos sectores a condiciones geotermales. Esta unidad se considera la base del acuífero y se reconoce a través de los perfiles TEM en toda el área de Piedra Pómez, su techo es relativamente horizontal y se ubica aproximadamente entre las cotas 4.000 y 4.100 m s.n.m. En estas condiciones, el sistema acuífero tiene un espesor de 250 a 300 metros dependiendo del sector. En el sector de Barrancas Blancas, el acuífero tiene un espesor saturado de aproximadamente 300 m.

La estadística de los niveles de agua en los pozos muestran una recarga activa y desde el año 1999, ellos se han mantenido dentro de un pequeño rango de fluctuaciones y muchos pozos muestran niveles notoriamente más altos que en la fecha de construcción. La profundidad del agua subterránea varía entre 22 metros en el sector del pozo PPX-15 y 130 metros en el pozo PPB-18. En el sector central de Piedra Pómez el nivel varía entre 50 y 80 metros de profundidad.

En la Figura 10.2-33 se observa la piezometría generada en la EIA de Cerro Casale, 2007, donde se aprecia los compartimientos hidrogeológicos de la cuenca diferenciados por la forma y dirección de las isopiezas entre la pampa de Barrancas Blancas y la Quebrada de Piedra Pómez sector Norte y sector Sur.

FIGURA 10.2-33
PIEZOMETRÍA DE LA CUENCA PIEDRA PÓMEZ, FUENTE: EIA CERRO CASALE, 2011



d) Constantes Elásticas

Los parámetros hidráulicos se han obtenido de las diversas pruebas de bombeo practicadas en la cuenca. Los primeros antecedentes están contenidos en el informe de EDRA 1999 donde se presentan las pruebas de bombeo realizadas en el período 1998 – 1999, en 16 pozos de los pozos construidos en ese período, así como los ajustes de las pruebas.

Los valores de transmisividad obtenidos por EDRA, 1999, se presentan en el Cuadro 10.2-25, donde se resumen los resultados de los análisis de las pruebas de bombeo en cada pozo y su respectivo pozo de observación, en los casos que corresponda. Las pruebas de bombeo realizadas en el área evidencian un acuífero de alta transmisividad cuyos máximos valores se asocian tanto a sedimentos volcanoclásticos gruesos (gravas y arenas gruesas) como a rocas altamente fracturadas (andesita fracturada).

En febrero del año 2009, se realizó una prueba de bombeo simultánea en tres de los pozos de Piedra Pómez. Estos pozos fueron bombeados en forma continua durante 14 días, período en el cual se controlaron los niveles en todos los pozos del área en forma manual y algunos de ellos con transductores, además se midió la recuperación de niveles por 14 días después de terminado el bombeo.

La Figura 10.2-33 muestra la distribución espacial (en planta) de los valores presentados en el Cuadro 10.2-26. En la mayoría de los casos se han considerado rangos de valores sobre la base de las transmisividades obtenidas utilizando el método de Recuperación Theis Jacob, ya sea en el pozo de bombeo o en el de observación, debido a que minimiza los efectos de pérdidas de carga en el pozo.

El área de mayor transmisividad se sitúa en la parte central del sector Quebrada de Piedra Pómez, donde se ubican los pozos PPB-1, PPB-4, PPB-23 y PPB-19, obteniéndose transmisividades que fluctúan entre aproximadamente 2.000 y 7.000 m^2/d. Fuera de esta área, la transmisividad disminuye, alcanzando valores entre 1.000 y 2.000 m^2/d en la zona de los pozos PPB-3, PPB-21, PPB-6 y PPB-10. Para los restantes pozos se obtuvieron transmisividades inferiores a 1.000 m^2/d.

En el sector de Barrancas Blancas la transmisividad varía aproximadamente entre 2.300 y 3.300 m^2/d en los pozos PPX-12 y PPB-18, mientras que en el pozo PPB-14 se calculó un valor de 44.000 m^2/d. Los bajos valores de eficiencia obtenidos en los pozos PPB-12 y PPB-18 hacen presumir que esta área posee transmisividades mayores a las obtenidas en las respectivas pruebas de bombeo. El Cuadro 10.2-26 muestra los valores de transmisividad obtenidos durante la prueba de bombeo de 14 días de duración realizada en Febrero de 2009.

El coeficiente de almacenamiento del acuífero se ha obtenido de los análisis de las pruebas de bombeo individuales (1998-1999) y de la prueba de bombeo de 14 días efectuada en febrero de 2009. Los valores obtenidos de la prueba de larga duración fluctúan entre 0,03 y 0,06, lo que es consistente con la presencia de un acuífero freático a semi-confinado conformado por unidades clásticas y rocas fracturadas.

CUADRO 10.2-25
PARÁMETROS HIDRÁULICOS EN PRUEBAS DE BOMBEO 1998-1999. FUENTE: EIA CERRO CASALE, 2011

Pozo	Derechos de Agua	Q	Tiempo de Bombeo		Tiempo de Recuperación (min)		Transmisividad (m^2/d)					Eficiencia	Rendimiento
	(L/s)	(L/s)	Minutos	Dias	Pozo de Bombeo	Pozo de Observación	Theis	Recuperación Theis Jacob	Cooper Jacob	Neuman	Hantush	(%)	(L/s/m)
PPB-1	100	87	1.110	0,77	Ruptura tubería								1,35
		100	3.270	2,27	2.640			1.710	2.810	204	226	63	
PPX-1						4.560		2.380					
PPB-3	100	80	4.320	3,00	3.060			1.230	1.400		393		0,93
		100	3.840	2,67	1.320			1.210	1.230		377	12	
PPX-3						5.760							
						4.080							
PPB-4	120	120	4.320	3,00	1.260			1.280	1.280	414		61	3,00
PPX-4						3.360		2.080					
PPB-5	102	102	4.320	3,00	4.200			405	549	707		60	2,00
PPX-5						6.120		676					
PPB-6	108	80	4.320	3,00	1.620		1.370	1.180	998	1.370			1,47
		108	2.880	2,00	1.126		880	1.160	678	880		61	
PPX-6						6.480		1.380	1.370				
PPX-6						4.320		1.480	1.410				
PPB-8	30	30	4.320	3,00	720		61			54	73	39	0,29
PPX-8						3.848							
PPB-9	20	20	2.970	2,06	1.320		82	24		47	47	45	0,14
PPX-9						1.860		127					
PPB-10								569	530	144	181	59	0,46
PPX-10						4.440		1.020	1.250				
PPB-11	41,6	41	4.320	3,00	1.800		127	63			130	45	0,51
PPX-11						3.110		127					
PPB-12	30	30	4.320	3,00	1.260			1.450	1.450		3.190	2	0,55
PPX-12						4.320		2.310	2.310				
PPB-14	130	130	2.880	2,00				44.800	44.800		31.700	40	2,24
PPX-16													
PPB-18	43	43	3.120	2,17	720			3.300	880			5	0,82
PPX-18						1.380							
PPB-19A	120	120	2.880	2,00	2.850			7.600	7.600	182		58	4,14
PPB-21	95	95	2.040	1,42	Falla bomba						195		1,80
		95	3.000	2,08	3.960			1.505				51	
PPB-23	120	120	1.620	1,13	Falla bomba								4,44
		120	1.740	1,21	Falla bomba								
		120	4.320	3,00	4.320			5.430	5.430			18	
PPX-23								3.750	3.750				
PPB-24	30	30	4.320	3,00	4.320			297	297			32	0,88

CUADRO 10.2-26
TRANSMISIVIDAD PRUEBA DE BOMBEO 14 DÍAS

Pozo	Q (L/s)	T (m^2/d)
PPB-1	61	2.200
PPB-19	91	5.000
PPB-23	87	4.500

Durante el análisis de los resultados de la prueba de bombeo de larga duración se observa que dados los compartimientos presentes en el acuífero, tanto en sentido vertical (estratificación) como horizontal (estructuras verticales) resulta complejo distinguir los efectos de la porosidad drenable propiamente tal del tamaño del compartimento. De hecho, en el corto plazo la respuesta de las diferentes unidades geológicas es distinta y drenan agua desde el almacenamiento en tiempos diferentes.

Por otra parte, debido a que la prueba de bombeo no provocó descensos considerables no fue posible obtener información suficiente acerca del almacenamiento del acuífero en un área más extensa.

Otro antecedente que permite estimar en forma indirecta el coeficiente de almacenamiento, es la porosidad registrada por la sonda neutrónica. Esta variable entrega información acerca del agua contenida en los poros de una formación.

Los resultados del estudio de perfilaje de pozos realizado por Geodatos indican que la unidad de arenas y gravas cercanas a la superficie tiene una porosidad del orden de 12% a 15%, las andesitas fracturadas de la zona central de Piedra Pómez del orden de 8% a 10%, las tobas tienen una porosidad del orden de 12%, mientras que las arenas y gravas más profundas del orden del 8% al igual que las andesitas más modernas.

e) Volúmenes Embalsados

El valor del volumen embalsado en la cuenca de Piedra Pómez, se obtuvo de acuerdo a lo presentado en el EIA de Cerro Casale, 2011, en donde se calcularon valores mínimos y máximos del volumen disponible para la extracción de los compartimientos de Piedra Pómez y de Barrancas Blancas.

Según las estimaciones de rendimiento específico y coeficiente de almacenamiento, obtenidas en los ajustes de las prueba de bombeo, porosidades drenables provenientes de los perfilajes geofísicos de pozos y valores usados en la literatura (Acosta y Custodio, 2008; Foster et al., 1985), es posible definir rangos

de porosidad drenable para los distintos tipos de litologías presentes en el área, las que se presentan en el Cuadro 10.2-27.

CUADRO 10.2-27
RANGOS ESTIMADOS DE POROSIDAD DRENABLE

Litología	Porosidad Drenable (%)
Arenas, gravas, tobas, andesitas pliocenas fracturadas	10 a 20
Andesitas oligocenas fracturadas, dacitas, andesitas pliocenas no fracturadas	3 a 10

La estimación del volumen almacenado se realizó usando una metodología de separación entre relleno de cuenca y roca. De acuerdo con esta metodología se obtuvieron valores mínimos y máximos de volumen almacenado de acuerdo a los rangos estimados de porosidad drenable.

Los valores obtenidos para los volúmenes máximos y mínimos y por sectores se presenta en el Cuadro 10.2-28. Se infiere de ésta, que el sector de Piedra Pómez representa el 66% del volumen almacenado.

CUADRO 10.2-28
RANGO ESTIMADOS DE VOLUMEN DE AGUA ALMACENADA

Volumen almacenado (m^3)	Cuenca de Piedra Pómez	Sector Piedra Pómez	Sector Barrancas Blancas
Mínimo	$3{,}84 \times 10^9$	$2{,}52 \times 10^9$	$1{,}32 \times 10^9$
Máximo	$1{,}00 \times 10^{10}$	$6{,}58 \times 10^9$	$3{,}45 \times 10^9$

Con respecto a los trabajos adicionales que se realizarían en esta cuenca, se advierte que dado que dentro de ella existe un campo de pozos para satisfacer las necesidades de la CIA minera Cerro Casale, es que existe abundante información de geofísica (gravimétrica y TEM) y de pozos perforados. Por lo que se priorizara levantar información en zonas donde no hayan prospecciones efectuadas.

En particular en la zona sureste de la cuenca, se genera una subcuenca ligada a los volcanes en donde se propone perforar 4 piezómetros, con profundidades entre 120-200 m, dependiendo de los resultados de la geofísica practicada y de la posición del nivel estático alumbrado. La geofísica recomendada consiste en 6

estaciones del tipo TEM, y 3 estaciones NanoTEM, totalizando 9 estaciones geofísicas a ser medidas en esta cuenca.

Las características de las prospecciones propuestas como ubicación y profundidad sugerida, se presentan a continuación en la Cuadro 10.2-29. La ubicación, tanto de los sondajes como de la geofísica, se observa en la Figura 10.2-34.

CUADRO 10.2-29
PROSPECCIONES PROPUESTAS EN LA CUENCA PIEDRA PÓMEZ

Piezómetros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Tipo	Profundidad (m)
TPP1	525.678	7.015.439	TEM	300
TPP2	528.219	7.013.155	TEM	300
TPP3	530.726	7.010.849	TEM	300
TPP4	534.629	7.009.811	TEM	300
TPP5	536.500	7.005.494	TEM	300
TPP6	529.146	7.007.876	TEM	300
NTPP7	528.797	7.012.227	NanoTEM	60
NTPP8	536.091	7.008.409	NanoTEM	60
NTPP9	524.655	7.015.067	NanoTEM	60
SPP1	524.405	7.015.373	Piezómetro	120-200
SPP2	529.124	7.012.049	Piezómetro	120-200
SPP3	535.180	7.009.304	Piezómetro	120-200
SPP4	529.349	7.008.007	Piezómetro	120-200

FIGURA 10.2-34
UBICACIÓN DE LAS PROSPECCIONES PROPUESTAS EN LA CUENCA PIEDRA PÓMEZ



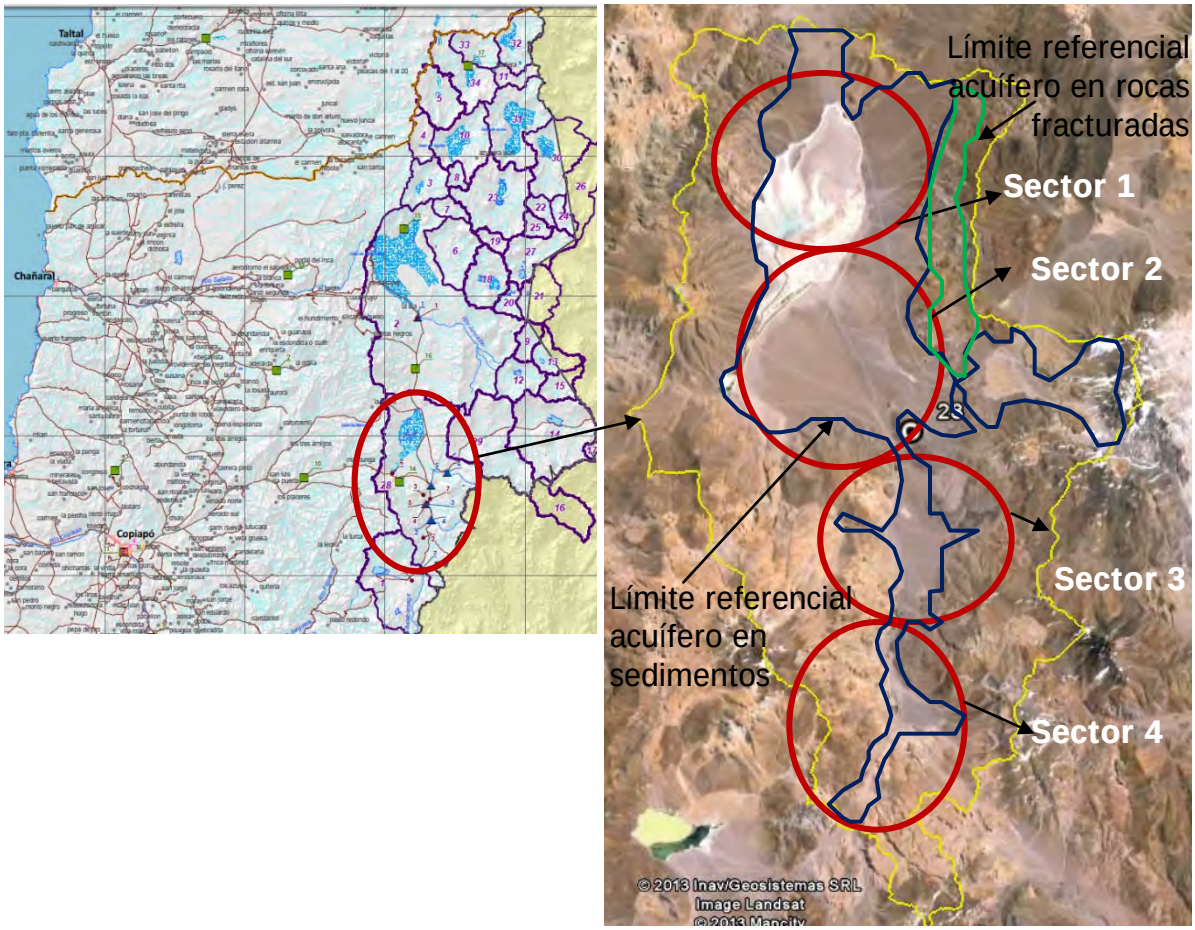
10.2.8. Cuenca N° 28. Salar de Maricunga

a) Acuíferos

La hoya hidrográfica del Salar de Maricunga es la segunda de mayor extensión en el sector pre altiplánico de la Región de Atacama (2.207 km^2). Su altura media es de 4.297 m s.n.m. y el salar propiamente tal se encuentra ocupando la mitad Norte de la cuenca, cercana al borde occidental de la divisoria que la separa de la cuenca del Río Copiapó. La forma del salar es elongada de Norte a Sur, angostándose considerablemente desde la mitad hacia el Sur. La superficie aproximada del salar casi alcanza los 140 km^2.

Hidrogeológicamente, debido a la densidad de información, esta cuenca se divide en este informe en 4 sectores. De Norte a Sur estos son: el Salar de Maricunga sector Norte, el Salar de Maricunga sector Sur, el llano Ciénaga Redonda y desde la vega Barros Negros hasta la pampa Pantanillo (Figura 10.2-35).

FIGURA 10.2-35
CUENCA N° 28. SALAR DE MARICUNGA



Sector 1: Salar de Maricunga sector Norte

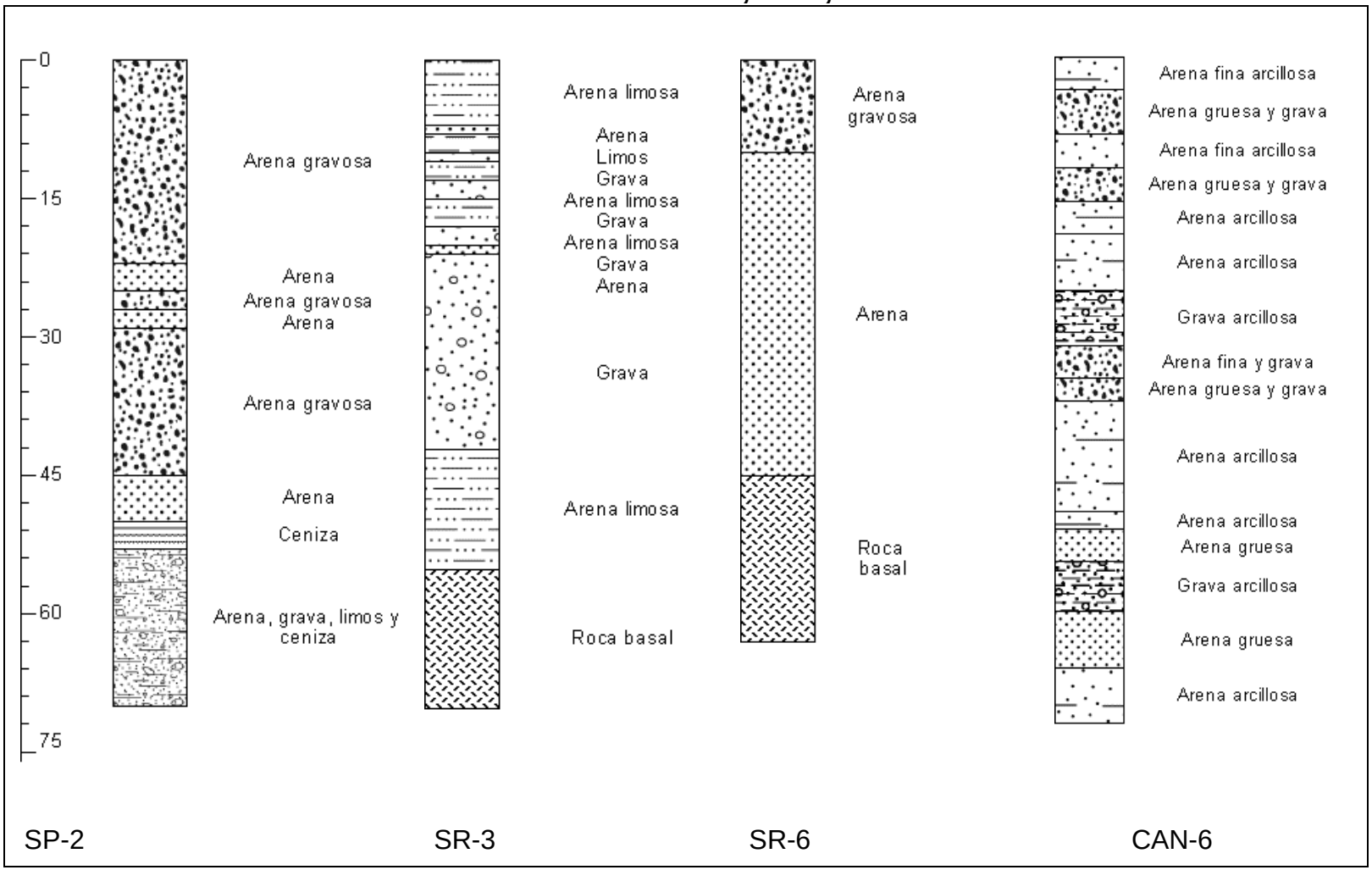
En el noroeste del Salar de Maricunga, se cuenta con información del estudio de DICTUC, 2010, donde se observa que en los pozos SP-2, SR-3 y SR-4 (Figura 10.2-36) se distinguen paquetes de arenas y gravas, que en el caso de SR-4 se prolongan hasta 150 m desde la superficie. SP-2 también presenta limos, arcillas y cenizas en la base (55- 70 m). En SR-3 la roca se encuentra a los 55m y en SR-6 a 45 m de profundidad, bajo una cobertura de arena (Figura 10.2-37).

Al noreste del salar se reconocen al menos 120 m de relleno con granulometría heterogénea, con arena y gravilla, junto a secuencias intercaladas de arcilla (pozo CAN-6). La permeabilidad de este acuífero se estima como media a alta, y recibe los aportes del flanco occidental de la Cordillera Claudio Gay (quebradas Manantiales, Colorada, Cerro Colorado y La Guanaca). De los SEV se infiere la existencia de un relleno con granulometría variable en profundidad, estableciéndose el nivel freático aproximadamente a 50 m bajo la superficie, donde los sedimentos estarían saturados en agua salada.

FIGURA 10.2-36
UBICACIÓN POZOS SECTOR NORTE Y SUR DEL SALAR DE MARICUNGA.
FUENTE: DICTUC, 2010.



FIGURA 10.2-37
ESTRATIGRAFÍA POZOS SP-2, SR-3, SR-6 Y CAN-6



Fuente: Modificado Dictuc 2010

Sector 2: Salar de Maricunga sector Sur

Del EIA presentado por ANDINA Minerals Ltda (AM), 2012, en particular de su Anexo 4.10, se presenta la información hidrogeológica de este sector.

En esta zona existen 9 pozos (Figura 10.2-31, (SR-1, SR-2, SP-3, SP-1 Y SP-4, pertenecientes a CIA Minera Mantos de Oro, y RPG-26, 27, 28, 29 y 30, propiedad de KINROSS). Las unidades hidrogeológicas, definidas a través de la estratigrafía de estos pozos, y los perfiles hidrogeológicos construidos además con la información de los perfiles TEM efectuados en el área, corresponden sumariamente a:

- **Unidad de gravas:** depósito aluvial no consolidado que corresponde a gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con pocos finos o sin ellos; en menor proporción, gravas limosas o arcillosas y mezcla mal graduada de gravas, arenas y limos. Esta unidad corresponde a la más potente y más extendida unidad de depósitos aluviales. Su potencia varía entre 50 y 100 metros, manteniendo en el sector del Salar de Maricunga 110 m en promedio, en el sector Norte de Ciénaga Redonda, 80 m.

- **Unidad de Arenas:** secuencia sedimentaria no consolidada que corresponde a arenas bien graduadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos; en menor proporción arenas limosas o arcillosas, mezcla de arena y limo mal graduada. Esta unidad subyace a la unidad de gravas y sobreyace al basamento rocoso de media/alta meteorización/alteración, posee una potencia variable de entre 20 a 90 metros, manteniendo un promedio en el sector del Salar de Maricunga de 140 m, mientras que en el sector Norte de Ciénaga Redonda alcanza 40 m.

- **Unidad de Gravas y Arenas con Finos:** corresponde a pequeñas porciones de paquetes sedimentarios definidos como gravas y arenas, con un porcentaje de partículas finas superior a 10% suficiente para generar un comportamiento hidrogeológico diferenciado, es decir, actuar como acuitardo o acuícludo en forma local.

- **Unidad Basamento Rocoso Media / Alta Meteorización:** está compuesto por rocas de diferente composición y edad que presentan grados de meteorización medio a alto, lo que permite circulación menor de agua a través de fracturas (porosidad secundaria), se encuentra subyaciendo a las unidades de arenas y gravas. Las principales litologías que se incluyen en esta unidad son flujos volcánicos, lavas, tobas y rocas intrusivas, en forma más restringida que las anteriores, se identifican rocas sedimentarias. Uno de los sectores con mayor evidencia de este confinamiento en roca meteorizada / fracturada, es el sector Norte de vega Ciénaga Redonda.

- **Unidad Basamento Rocoso Baja Meteorización:** litológicamente corresponde a la unidad de basamento presentada anteriormente, sin embargo, su grado de alteración es bajo, por lo que se comporta como una unidad prácticamente impermeable. Como unidad hidrogeológica subyace a la unidad de basamento rocoso de meteorización alta/media.

En la medida que se acerca al centro del Salar de Maricunga, es probable que la estratigrafía grade a grano fino. Esto es porque el cuerpo de agua del salar está más alejado del curso principal que aporta los sedimentos que rellenaron la cuenca del Salar de Maricunga y porque el cuerpo de agua que una vez ocupó un área mucho mayor en la menor elevación de la cuenca, ha disminuido en el tiempo.

Sedimentos de grano fino pueden haber sido depositados en el antiguo lago con los sedimentos más finos en la parte más profunda del lago, es decir, en la parte de la cuenca que es ahora ocupada por el agua superficial. Por lo tanto, se espera que las arenas y gravas encontradas en los pozos SR y SP probablemente cambien a materiales más limosos acercándose al centro del salar.

En la Figura 10.2-38 (a: leyenda y b: mapa), se presenta un extracto del mapa hidrogeológico de Golder 2011, con la traza de los perfiles hidrogeológicos. En la Figura 10.2-39 (a: Perfil hidrogeológico 12, b: perfil hidrogeológico longitudinal) se observan los perfiles hidrogeológicos más representativos del sector Sur del salar.

FIGURA 10.2-38A
LEYENDA DEL MAPA HIDROGEOLÓGICO. FUENTE: GOLDER, 2011.

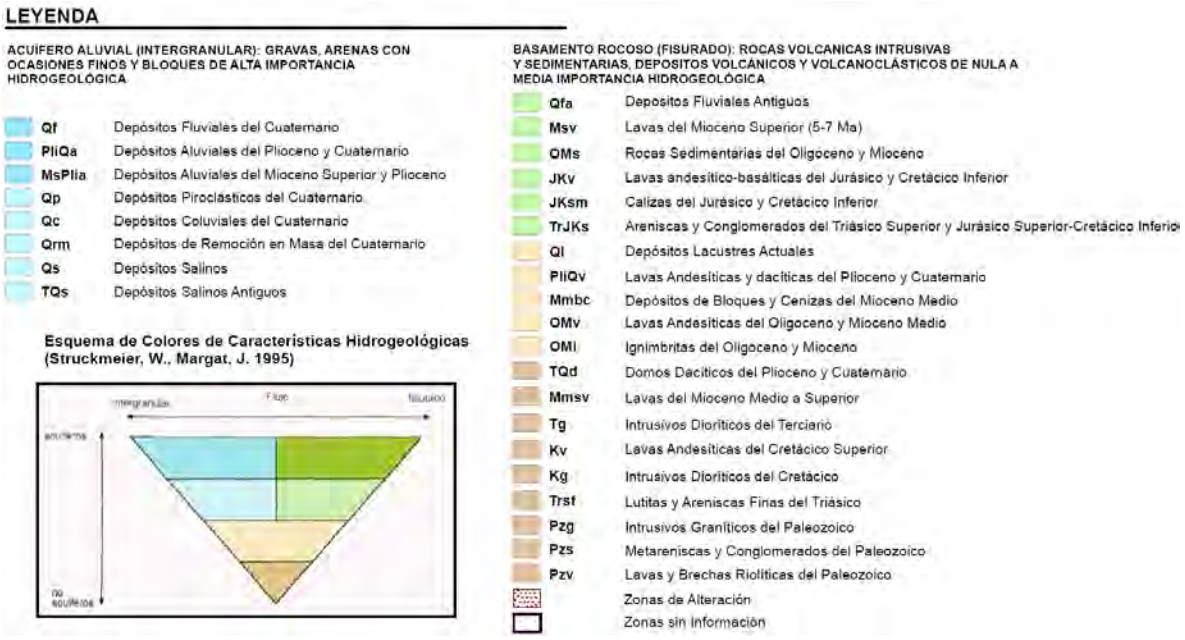


FIGURA 10.2-38B
MAPA HIDROGEOLÓGICO SECTORES NORTE Y SUR DEL SALAR DE MARICUNGA.
FUENTE: MODIFICADO DE GOLDER, 2011.

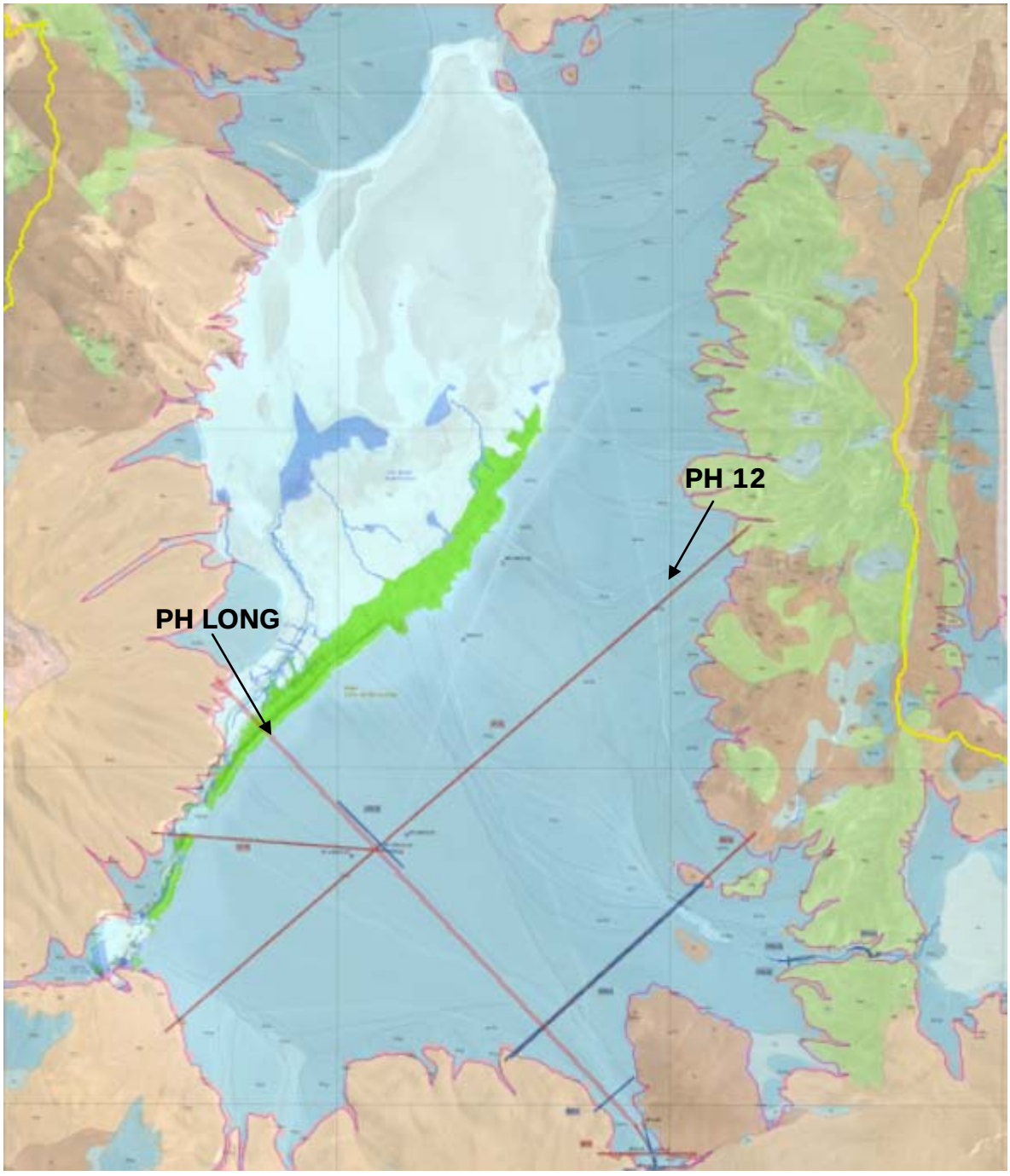


FIGURA 10.2-39A.
PERFIL HIDROGEOLÓGICO 12, FUENTE: GOLDER, 2011.

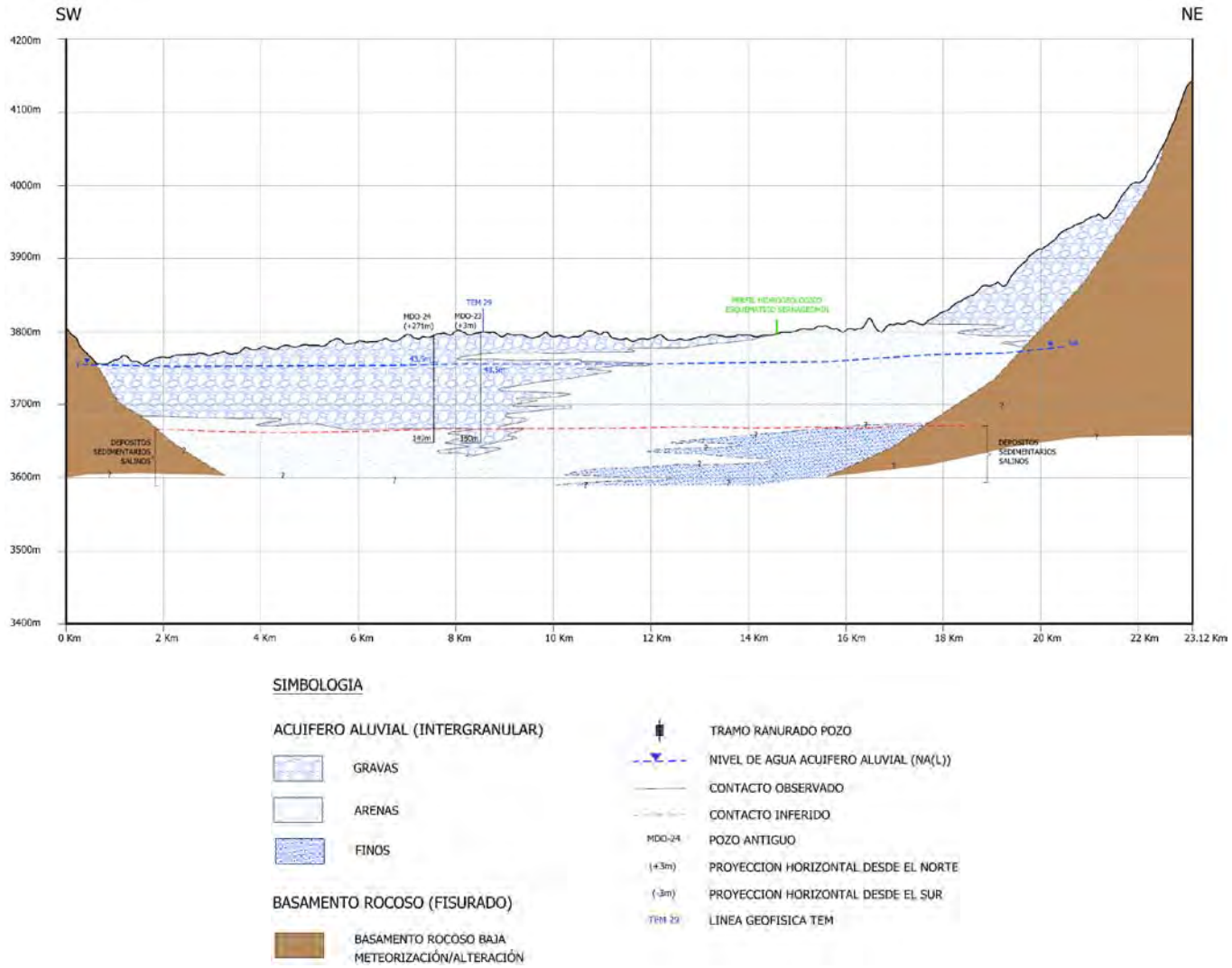
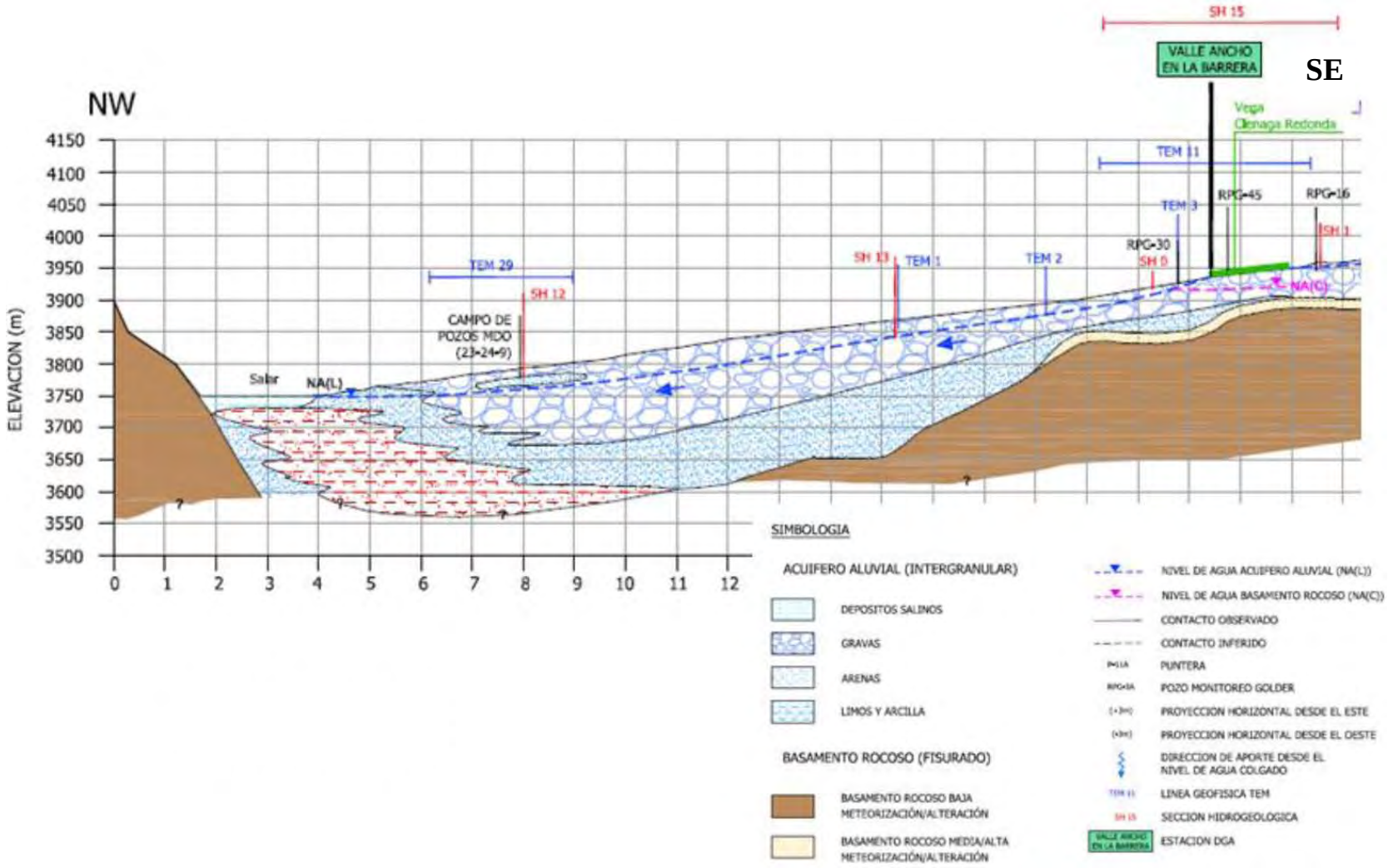


FIGURA 10.2-39B.
PERFIL HIDROGEOLÓGICO LONGITUDINAL, FUENTE: GOLDER, 2011.



Sector 3: Llano Ciénaga Redonda

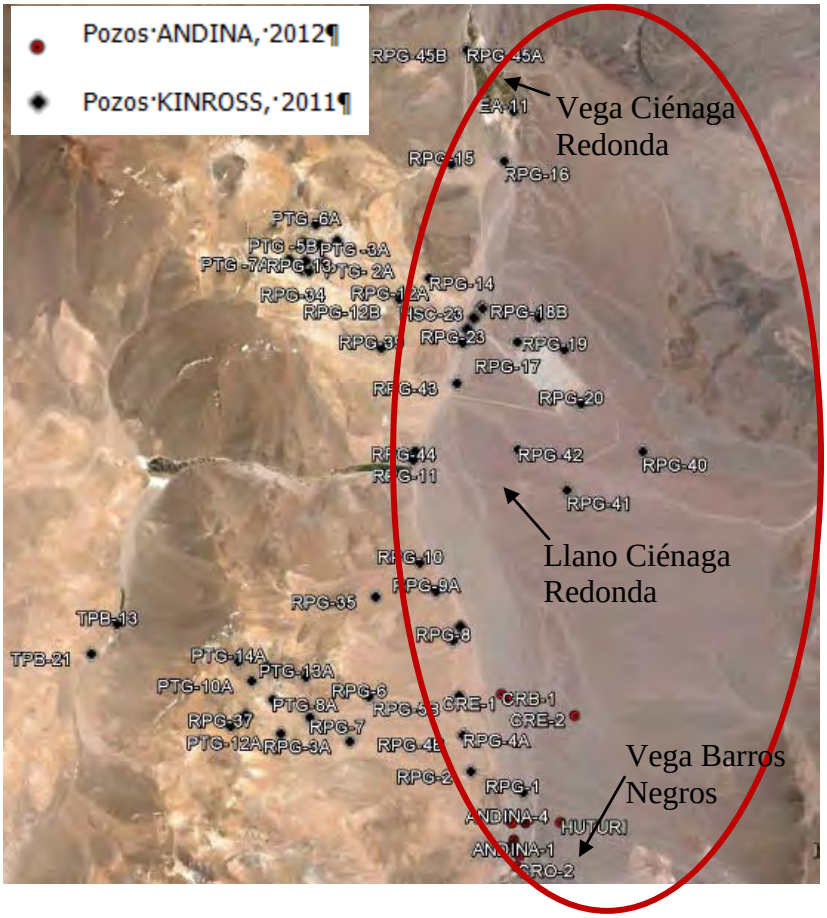
En este sector se han llevado a cabo diversos estudios, por lo que se presentarán los más recientes, los estudios realizados por ANDINA Minerals Ltda, 2012, y el de KINROSS, 2011.

La sub cuenca Ciénaga Redonda está limitada al este y al Oeste por complejos volcánicos del Oligoceno y Mioceno, que descansan sobre un basamento de rocas volcánicas del Paleozoico superior y constituye una depresión elongada en dirección norte-sur, rellena con sedimentos no consolidados.

En el llano de la Ciénaga Redonda se albergan los principales recursos hidrogeológicos, donde existe un mayor espesor de sedimentos debido a procesos tectónicos que permiten la presencia de esta cubeta sedimentaria.

En la Figura 10.2-40 se observa la densidad de pozos presentes en el llano.

FIGURA 10.2-40
POZOS EN EL LLANO CIÉNAGA REDONDA. EN NEGRO POZOS KINROSS Y EN ROJO POZOS ANDINA. EL OVALO ROJO CORRESPONDE AL LLANO



La distribución areal de las unidades hidrogeológicas definidas por GOLDER, 2011, se presentan en el mapa hidrogeológico de la Figura 10.2-41 (la leyenda de este mapa corresponde a la presentada en la Figura 10.2-38A). Además sobre ésta figura se observan las trazas de los perfiles hidrogeológicos, de los cuales se muestran los principales en la Figura 10.2-42. Según el EIA de ANDINA Minerals, 2012, se han definido en la zona tres unidades hidrogeológica, las que se describen a continuación:

Roca Basal Impermeable (Unidad 1)

Esta unidad está conformada por variados tipos de rocas entre las cuales destacan: coladas de lavas andesíticas del Oligoceno y Mioceno Medio (OMmv); ignimbritas, flujos piroclásticos y tobas del Oligoceno y Mioceno (OMi); lavas andesíticas y andesítico–basálticas del Mioceno Superior (Msv); y lavas andesíticas y dacíticas del Plioceno y Cuaternario (PliQv). Para efectos hidrogeológicos estas unidades líticas terciarias y cuaternarias han sido consideradas como impermeables, constituyendo condiciones de borde del escurrimiento subterráneo tanto en profundidad como lateralmente.

Rocas Fracturadas y Alteradas (Unidad 2)

Sobreyaciendo a la Unidad 1 se detecta un nivel de rocas fracturadas y alteradas hidrotermalmente que presumiblemente tienen una amplia cobertura lateral. Este nivel fue reconocido en varios sondajes y se pudo comprobar, mediante ensayos de airlift, que presenta una permeabilidad moderada y que consecuentemente tiene características hidráulicas que lo transforman en un acuífero.

Sin embargo, aplicado un criterio conservador, y con el objeto de no incrementar desmedidamente el potencial hidrogeológico del área en estudio, este acuífero lítico se ha circunscrito arealmente a la zona de contacto entre la unidad de roca impermeable y los depósitos sedimentarios fluvioaluviales (Unidad 3), como se indica en los perfiles hidrogeológicos que más adelante se muestran. Por otra parte, los resultados del estudio geofísico no permiten determinar de manera precisa la potencia de esta unidad definiendo su base de manera preliminar.

Depósitos sedimentarios fluvioaluviales (Unidad 3)

Sobreyaciendo a las rocas fracturadas y alteradas de la Unidad 2, se reconoce en la zona una importante cobertura de sedimentos conformados esencialmente por gravas y arenas con escasos finos, que presentan alta permeabilidad y que constituyen un acuífero de buenas características hidrogeológicas y que se caracteriza por tener un carácter freático (libre). Este conjunto de sedimentos han sido definidos, en este estudio, como Unidad 3. En los perfiles adjuntos se puede advertir la cobertura de dicha unidad a lo largo y ancho del área de estudio.

FIGURA 10.2-41
MAPA HIDROGEOLÓGICO SECTOR 3, LLANO DE CIÉNAGA REDONDA.
FUENTE: MODIFICADO DE GOLDER, 2011.

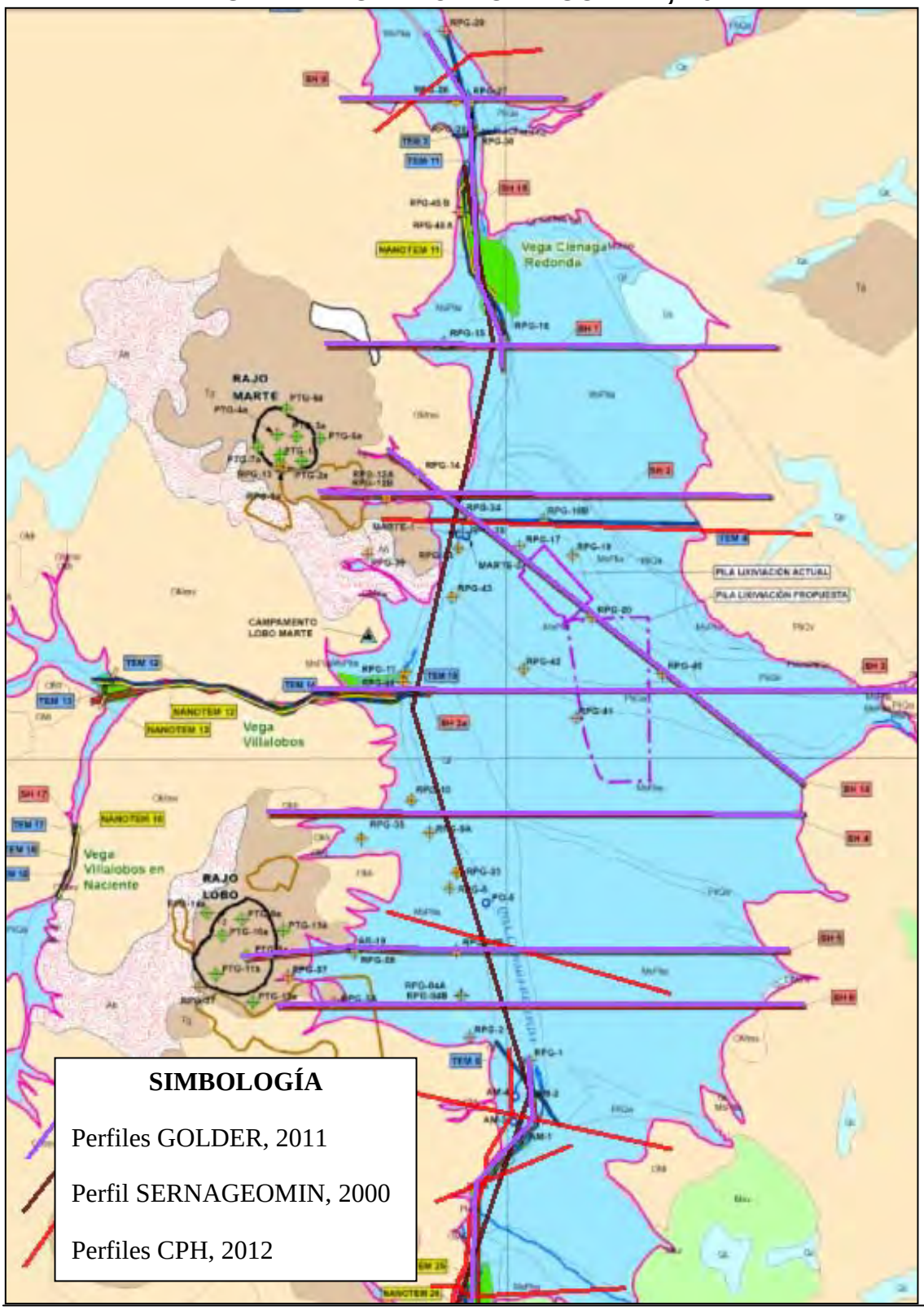


FIGURA 10.2-42A.
PERFIL HIDROGEOLÓGICO LONGITUDINAL, FUENTE: SERNAGEOMIN, 2000.

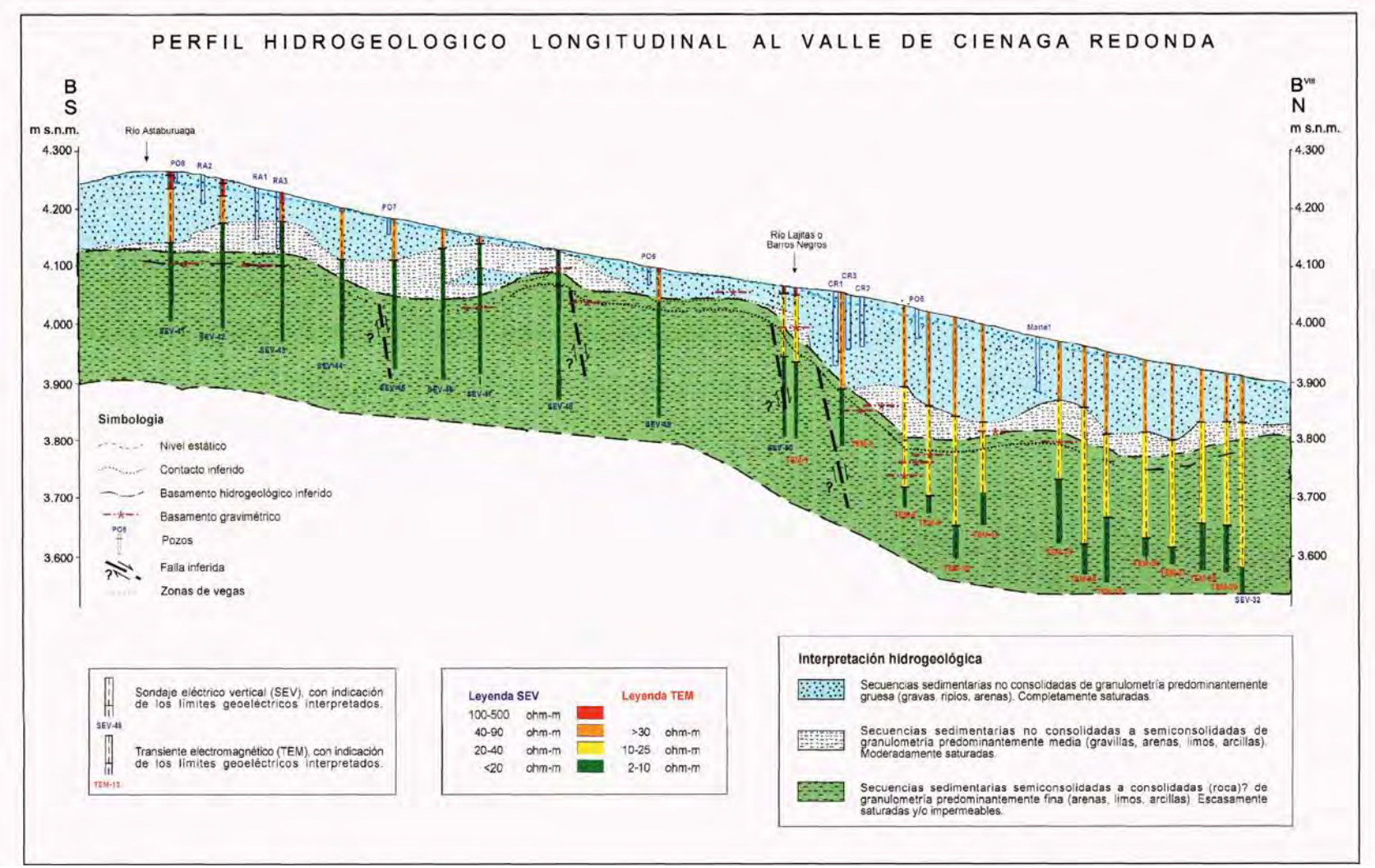
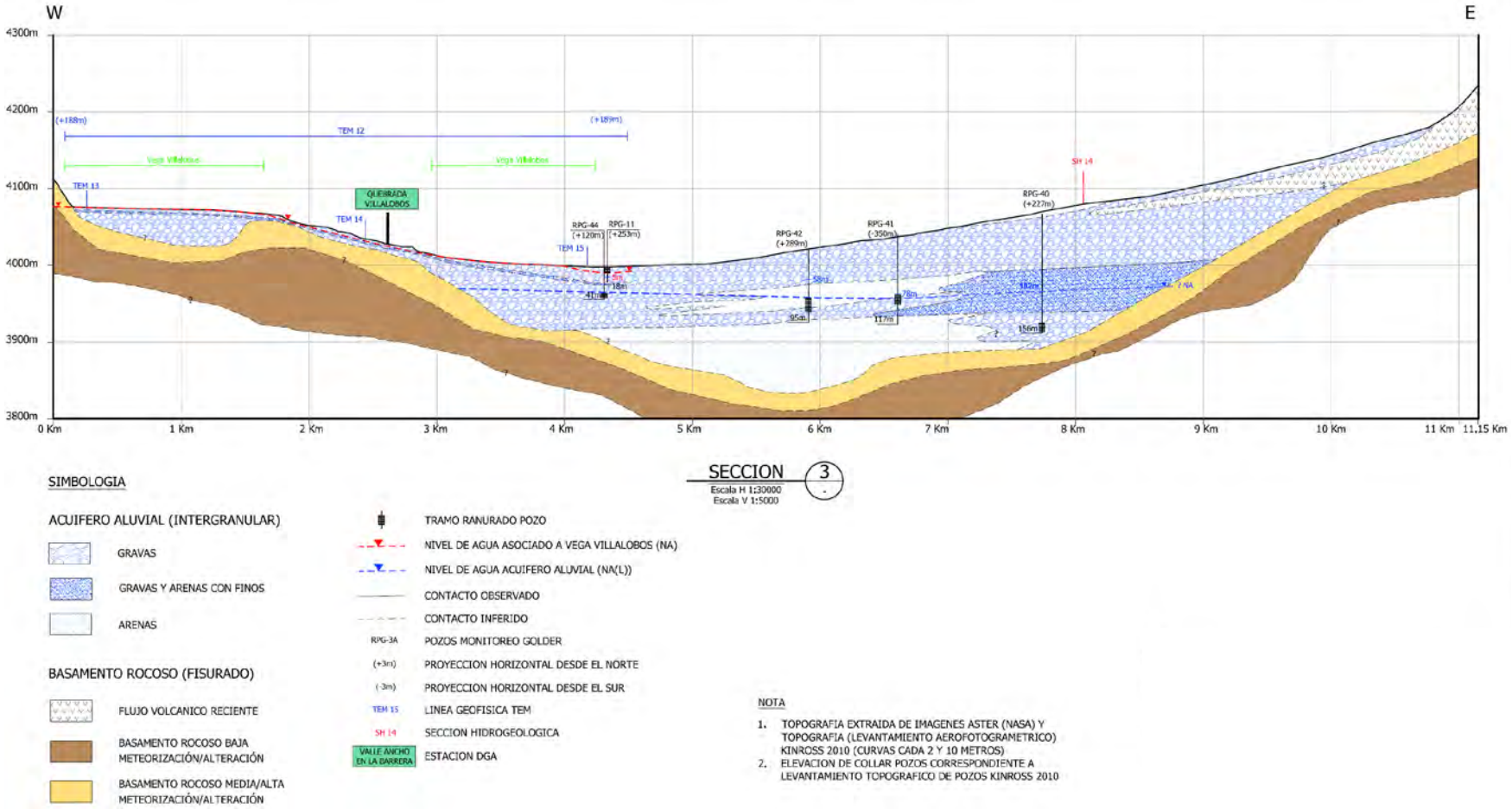


FIGURA 10.2-42B.
PERFIL HIDROGEOLÓGICO 3, FUENTE: GOLDER, 2011.



Sector 4: Desde vega Barros Negros hasta Pampa Pantanillo

Se realiza la separación de este sector con el del llano Ciénaga Redonda debido a que en la vega de Barros Negros la quebrada principal se estrecha y el basamento fracturado/alterado se encuentra más somero, dando paso a la formación de las vegas que se observan en este sector.

Como se advierte en los pozos CRO (2 al 6) presentados en el EIA de ANDINA Minerals, 2012, el depósito sedimentario existente en este sector está conformado por gravas y arenas cuya fracción matricial exhibe proporciones menores de finos. El origen de estos rellenos es fluvio-aluvial y conforme a la granulometría que presentan es posible aseverar que forman un medio permeable con buenas a muy buenas características hidrogeológicas. El espesor de estos sedimentos en el sector de la vega de Barros Negros, es relativamente pequeño (entre 14 y 35 m).

Subyaciendo al relleno sedimentario se observa que la roca basal se encuentra fuertemente alterada y fracturada, al parecer debido al hidrotermalismo presente en esta zona, lo que permite asumir, con alto grado de incertidumbre, que dicho nivel conforma un medio de permeabilidad moderada que lo transforma en un acuífero que facilita el tránsito subterráneo en las zonas estrechas donde se emplazan las vegas del área.

Se presume que estas características hidrogeológicas se mantienen constantes hacia el Sur, pasando por la vega Pantanillo Ancho, en donde no existe información de pozos o de geofísica que se encuentre publicada.

En el área de Pampa Pantanillo, se han perforado seis pozos de exploración de agua (EA-1, EA-2, EA-3, EA-4, EA-5 Y EA-6 de Montgomery & Asociados, 1990) y tres pozos de producción (RA-1, RA-2 y RA-3 de SRK, 1990), además de tres punteras orientadas a conocer los niveles estáticos, ubicadas donde se realizaron los pozos EA-2, EA-5 y EA-6.

La información recolectada en estos pozos señala que en esta área se desarrolla un acuífero libre en sedimentos aluviales, cuya zona saturada bordea los 60 m de espesor con un buen potencial hidrogeológico.

En la Figura 10.2-43 se presentan la ubicación de los pozos y las trazas de los perfiles hidrogeológicos que se encuentran en este sector; en la Figura 10.2-44 se observan los perfiles hidrogeológicos representativos de las zonas de la vega de Barros Negros y de la pampa Pantanillo.

FIGURA 10.2-43
UBICACIÓN DE POZOS DESDE LA VEGA BARROS NEGROS HASTA LA PAMPA PANTANILLO

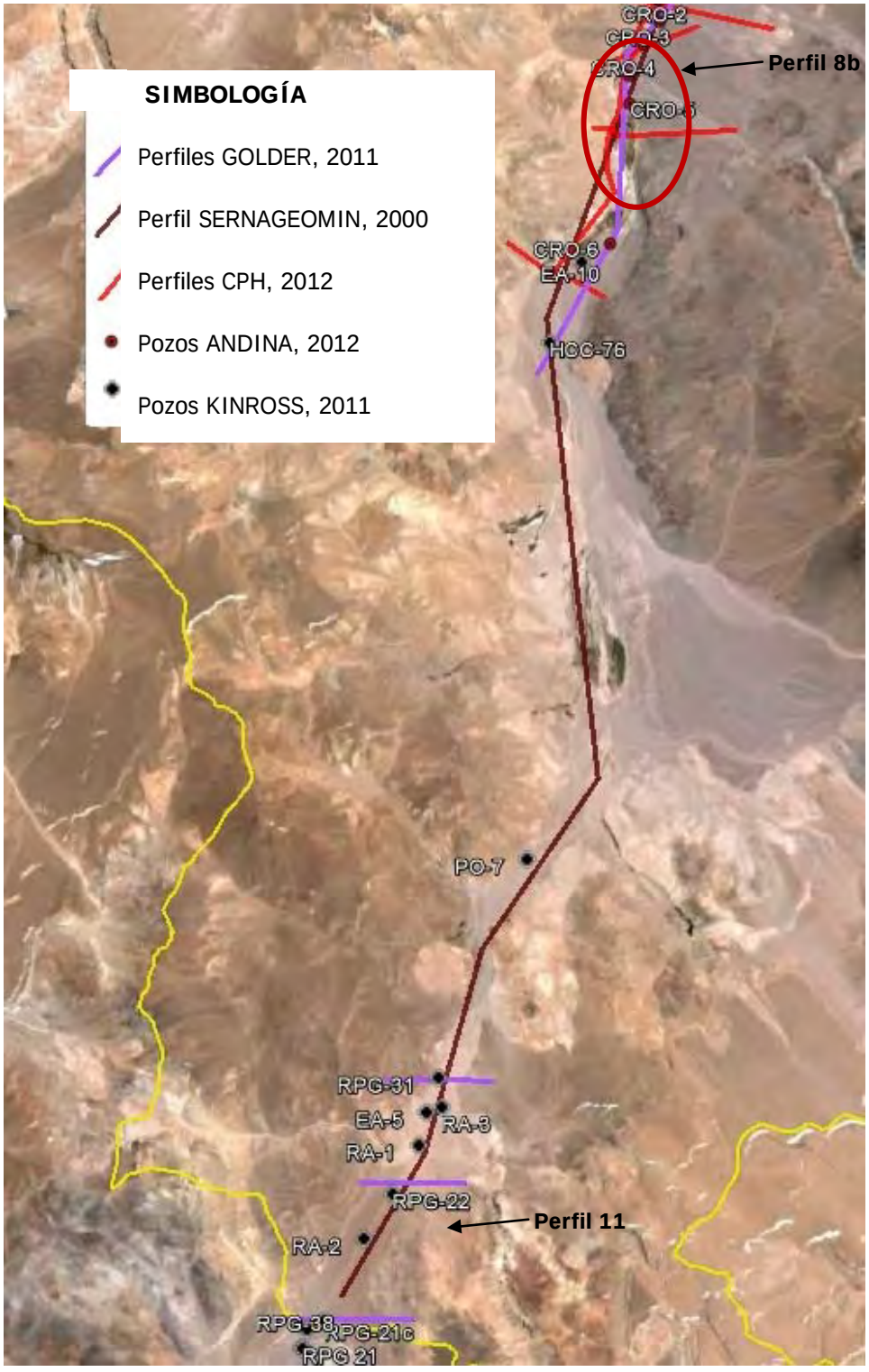


FIGURA 10.2-44A.
PERFIL HIDROGEOLÓGICO 8B, FUENTE: ANDINA, 2012.

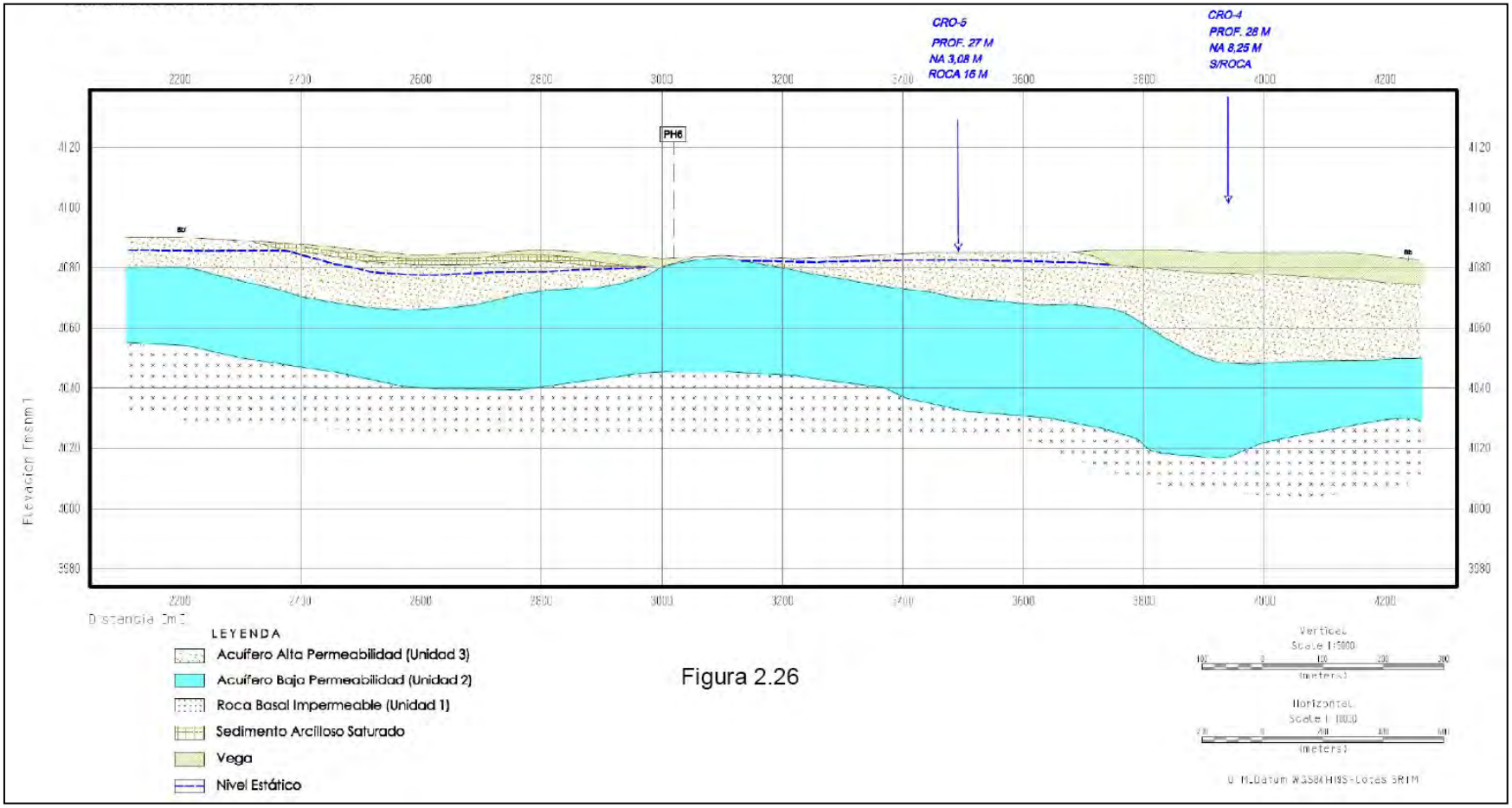
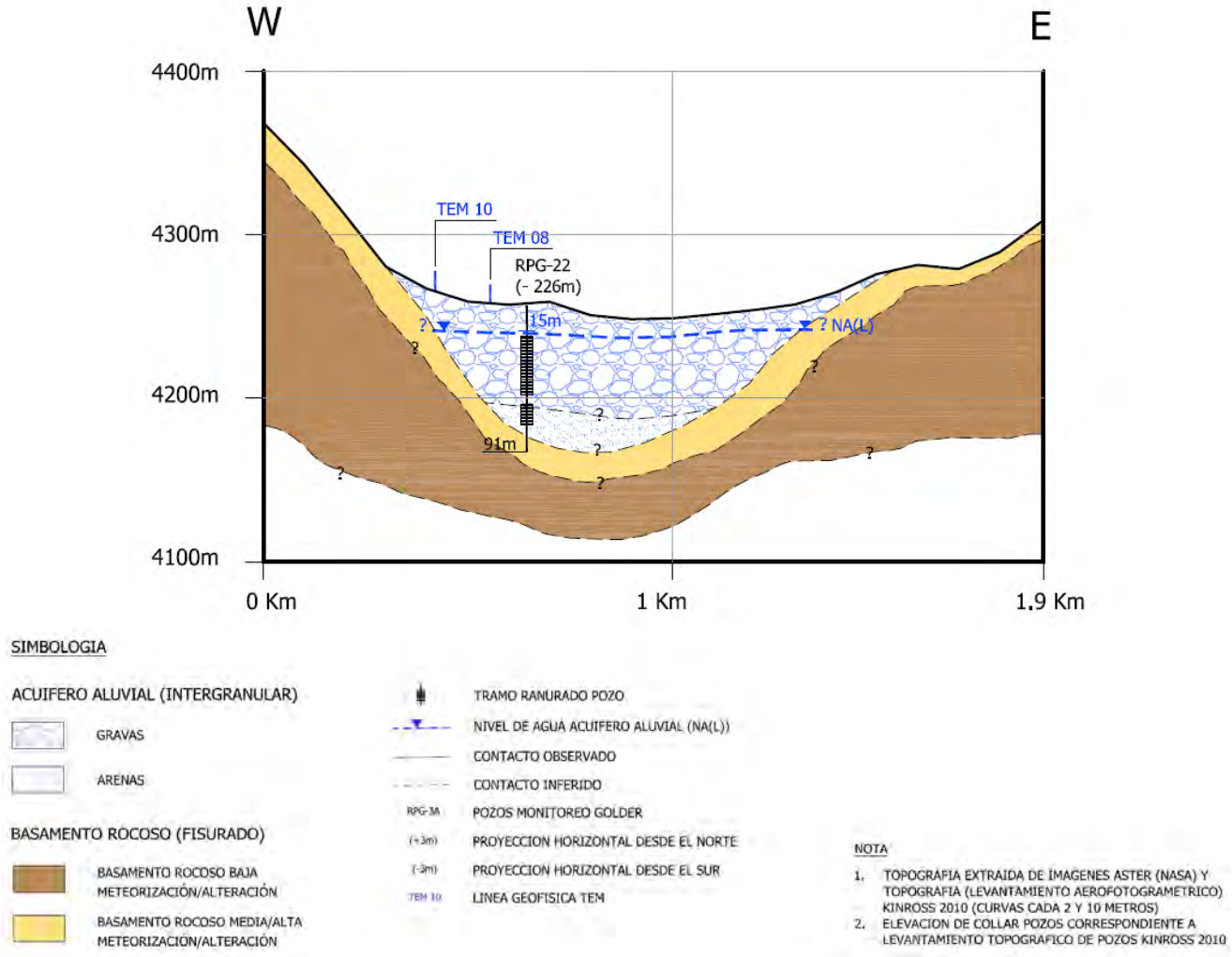


Figura 2.26

FIGURA 10.2-44B.
PERFIL HIDROGEOLÓGICO 11, FUENTE: GOLDER, 2011



b) Exploración Geofísica

En esta cuenca se han realizado diversos estudios geofísicos, que incluyen perfiles y mapas gravimétricos, tanto en los sectores Norte y Sur del salar de Maricunga, como en el sector del llano de Ciénaga Redonda y las vegas de Barros Negros y de Pantanillo Ancho. Además se han practicado diversos perfiles TEM, NanoTEM y SEV. La ubicación de éstos en conjunto con los perfiles gravimétricos se muestra en la Figura 10.2-45.

En los sectores 1 y 2 (Norte y Sur del salar de Maricunga), las prospecciones geofísicas indican que en el margen sureste del salar, el máximo espesor de sedimentos es de 800 m. Además los perfiles SEV permiten inferir la existencia de una granulometría variable en profundidad, estableciéndose el nivel freático aproximadamente a 50 m bajo la superficie, donde los sedimentos se encuentran saturados en agua salada.

En los sectores 3 y 4 (llano Ciénaga Redonda y desde Barros Negros a Pampa Pantanillo), los métodos geofísicos indican que la superficie del basamento es irregular, alcanzando el relleno espesores máximos de hasta 400 m en el tramo inferior de la Quebrada Ciénaga Redonda y de 60-160 m de espesores máximos en la Pampa Pantanillo. En la vega Barros Negros y al Sur de esta, los perfiles geofísicos indican un espesor máximo del relleno entre 40-60 m, siendo la geometría del basamento conductor (alterado/fisurado) bastante irregular, provocando que en las zonas de las vegas el nivel estático aflore, al encontrarse un basamento somero.

De los mapas gravimétricos desarrollados por el SERNAGEOMIN, sólo se presenta el efectuado en el sector de la Quebrada de Ciénaga Redonda (Figura 10.2-46), pues los datos se presentan como profundidad del basamento, mientras que el realizado en el Salar de Maricunga, los datos están en Miligales (MGal), así, la escala de colores permite hacerse una idea de las zonas más profundas del basamento pero no se extrae fácilmente el dato relevante, que es el espesor del relleno sedimentario, que en conjunto con la posición del nivel estático permiten tener una idea del volumen de agua almacenada en el acuífero.

FIGURA 10.2-45
GEOFÍSICA PRESENTE EN LA CUENCA DE MARICUNGA

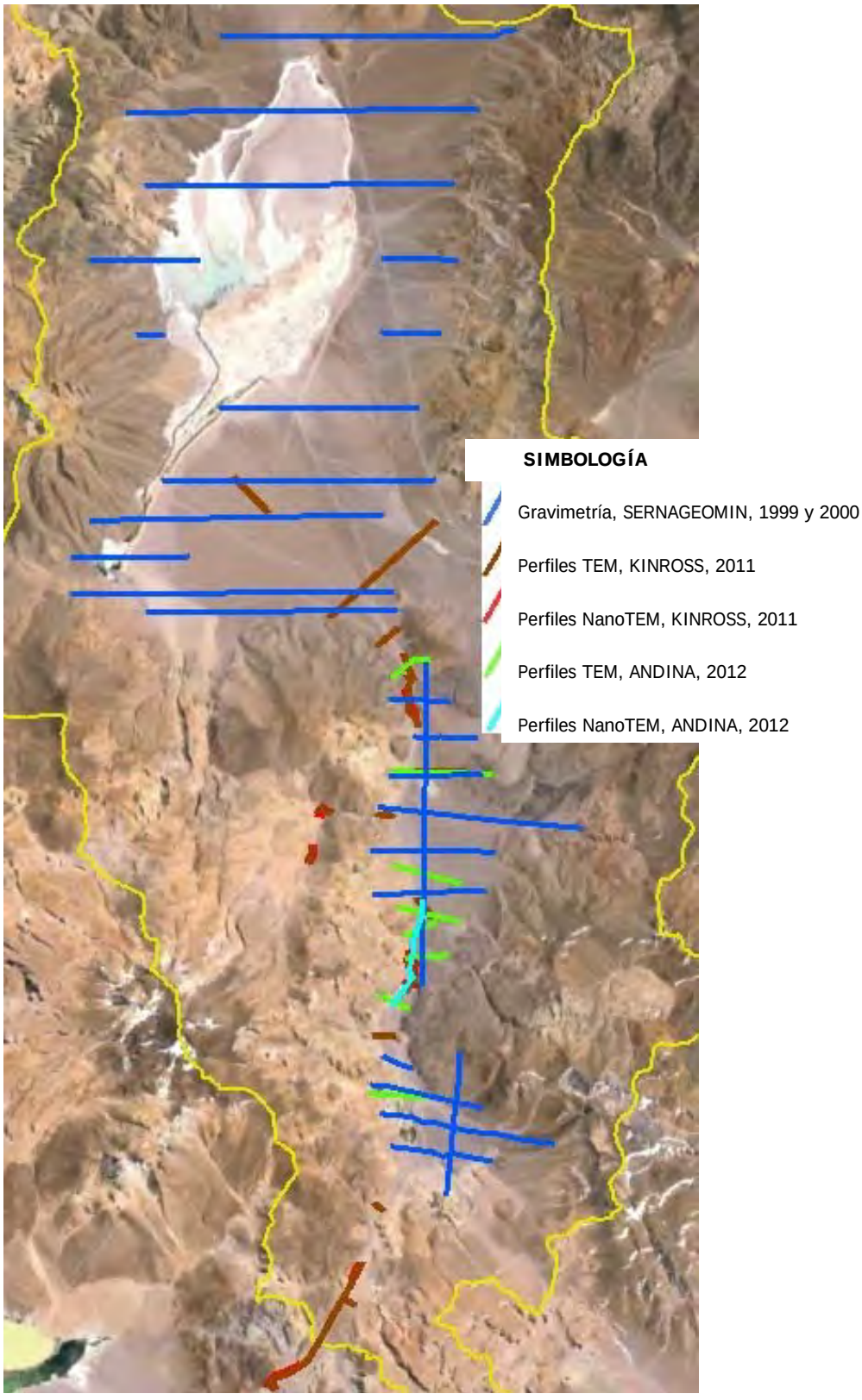
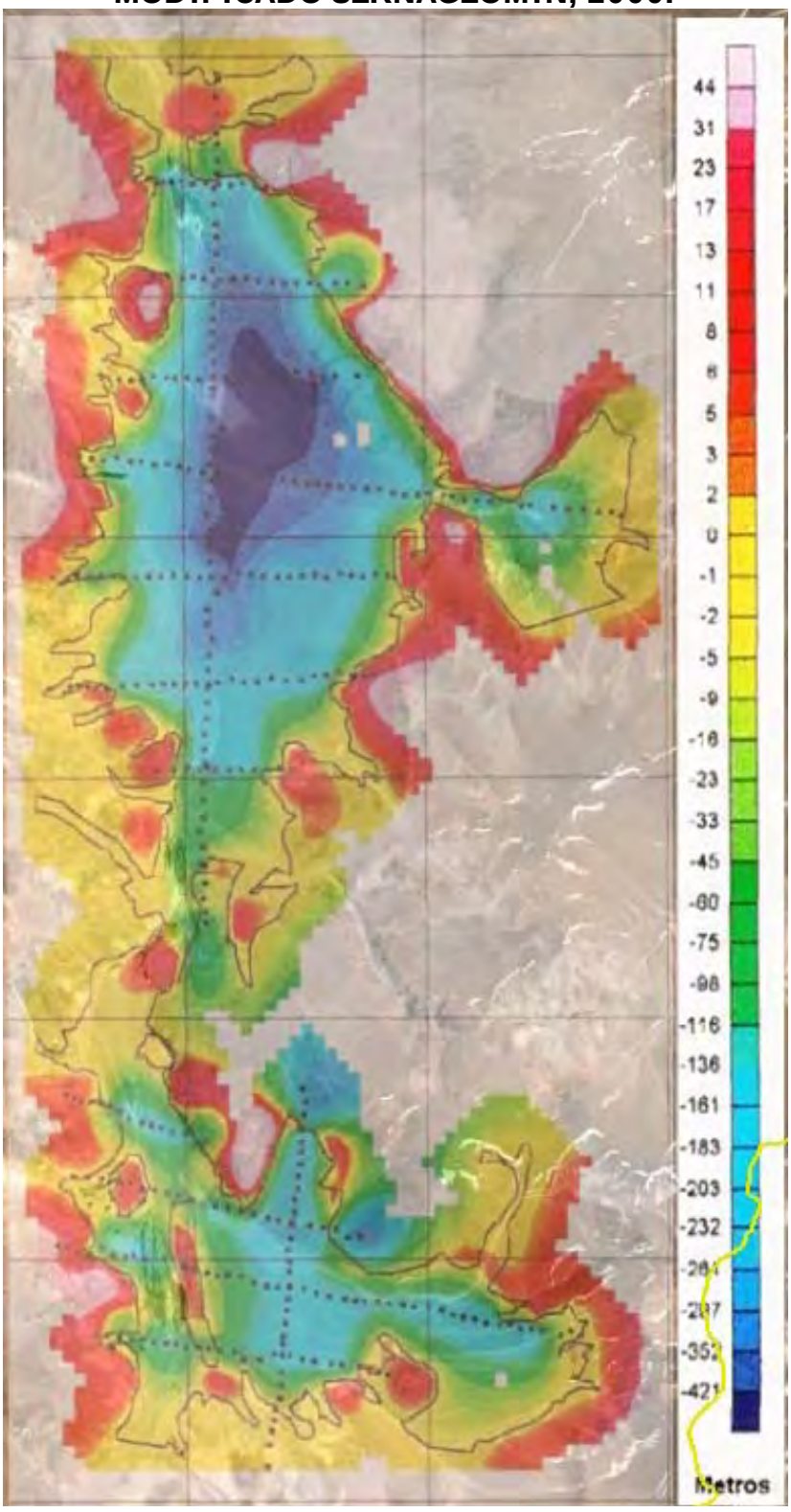


FIGURA 10.2-46
GRAVIMETRÍA DE LA QUEBRADA CIÉNAGA REDONDA. FUENTE: MODIFICADO SERNAGEOMIN, 2000.



c) Niveles de Aguas Subterráneas

Como se ha mencionado previamente, existen diversas fuentes de información, lo que aplica también para la definición de isopiezas y de direcciones de flujo.

En el Cuadro 10.2-30 se ilustra los pozos utilizados en la construcción de la piezometría en conjunto con su ubicación, cota, nivel medido, cota del nivel, fecha de medición estimada y fuente de información.

En la Figura 10.2-47 se observan las isopiezas construidas y las direcciones de flujo obtenidas a través de la piezometría. Es claro que las direcciones de flujo van de Sur a Norte en la Quebrada Ciénaga Redonda, y al llegar al Salar de Maricunga el flujo se ve afectado por el bombeo desde los pozos de Minera Mantos de Oro, lo que genera un cono de depresión en torno a estos pozos.

Se observa además que en el sector Norte del salar las isopiezas indican que el flujo se dirige hacia la depresión del salar, pero faltan datos para determinar con claridad la dirección del flujo subterráneo en la porción noreste del salar.

En el llano de Ciénaga Redonda, el flujo también es sur-norte, siendo este sector, el que tiene el mayor espesor saturado, encontrándose el nivel en su zona más profunda a 50 m b.n.t, logrando así un espesor saturado de hasta 300-350 m.

En los pozos construidos, que se encuentran en los entornos directos de la vega Barros Negros, el nivel estático es bastante somero. Los pozos CRO-1 y CRO-2, que se ubican en el extremo distal de la vega Barros Negros, acusan una profundización del nivel estático con valores entre 20 m y 16 m aproximadamente; sin embargo, los pozos CRO-3 al CRO-6 indican que la superficie freática se emplaza muy cerca del nivel del terreno, entre 2,4 y 8 metros. Este nivel tan cercano a la superficie es debido a un basamento fracturado/alterado somero, que mantiene un espesor reducido de sedimentos saturados.

En el sector Norte de la pampa Pantanillo se desarrolla un acuífero libre en sedimentos aluviales, cuya zona saturada bordea los 60 m de espesor y los niveles se ubican alrededor de los 20 m. En su sector Sur, en la desembocadura de la quebrada Astaburuaga, el nivel se encuentra entre los 20 a 30 m, con un espesor de alrededor de 100 m. Este sector se considera de buen potencial hidrogeológico.

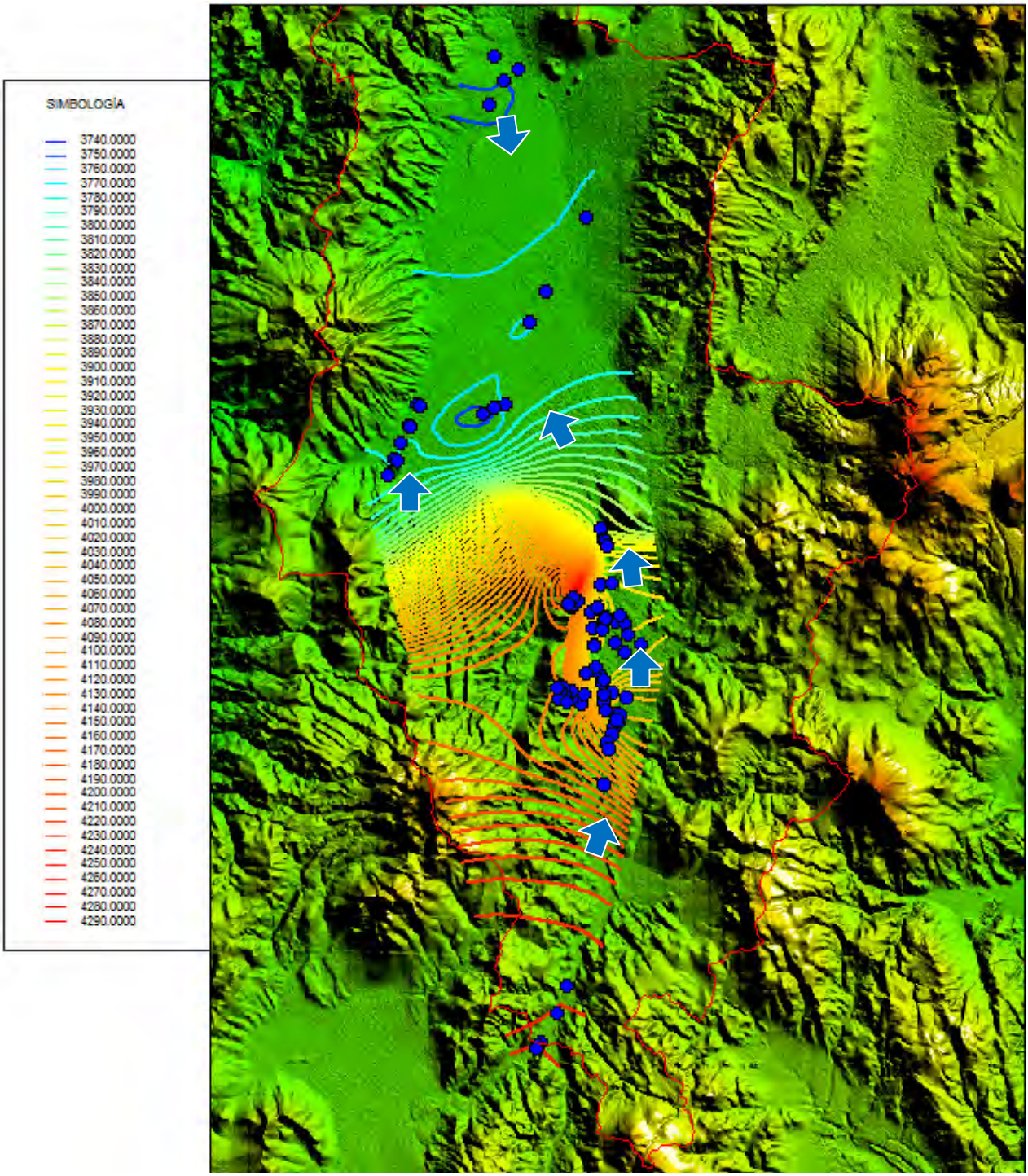
CUADRO 10.2-30
POZOS CON NIVELES PIEZOMÉTRICOS

Pozo	Este [m]	Norte [m]	Elevación [m s.n.m.]	Nivel de agua [mbnt]	Elevación NE [msnm]	Fecha medición	Fuente
RPG-1	500292	6986068	4050,35	21,02	4029,33	nov-10	KINROSS,2011
RPG-2	499511	6986375	4054,83	54,39	4000,44	nov-10	KINROSS,2011
RPG-3A	497703	6986817	4097,55	11,81	4085,74	nov-10	KINROSS,2011
RPG-4A	499392	6986911	4050,6	56,41	3994,19	nov-10	KINROSS,2011
RPG-4B	499403	6986910	4050,48	53,26	3997,23	nov-10	KINROSS,2011
RPG-5B	499330	6987498	4042,28	60,24	3982,04	nov-10	KINROSS,2011
RPG-6	497984	6987480	4091,39	50,18	4041,21	nov-10	KINROSS,2011
RPG-7	497105	6987171	4116,91	2,43	4114,48	nov-10	KINROSS,2011
RPG-8	499238	6988316	4032,35	66,93	3965,42	nov-10	KINROSS,2011
RPG-9A	498979	6989044	4023,55	59,06	3964,49	nov-10	KINROSS,2011
RPG-10	498738	6989466	4016,59	52,32	3964,27	nov-10	KINROSS,2011
RPG-11	498658	6991127	3995,49	4,92	3990,57	nov-10	KINROSS,2011
RPG-12A	498414	6993389	4040,79	14,22	4026,57	nov-10	KINROSS,2011
RPG-12B	498419	6993392	4040,48	13,93	4026,55	nov-10	KINROSS,2011
RPG-13	497060	6993797	4205,79	55,43	4150,36	nov-10	KINROSS,2011
RPG-14	498857	6993699	3999,01	11,65	3987,36	nov-10	KINROSS,2011
RPG-15	499180	6995399	3991,64	38,59	3953,05	nov-10	KINROSS,2011
RPG-16	499970	6995446	3954,14	2,7	3951,44	nov-10	KINROSS,2011
RPG-17	500179	6992755	4003,8	43,83	3959,97	nov-10	KINROSS,2011
RPG-18B	500499	6993115	3997,58	38,19	3959,39	nov-10	KINROSS,2011
RPG-19	500880	6992641	4017,54	57,77	3959,77	nov-10	KINROSS,2011
RPG-20	501136	6991837	4036	74,03	3961,97	nov-10	KINROSS,2011
RPG-21c	494895	6962445	4279,29	30,32	4248,97	nov-10	KINROSS,2011
RPG-22	496007	6964571	4256,65	15,29	4241,36	nov-10	KINROSS,2011
RPG-23	499364	6992737	3980,67	20,42	3960,25	nov-10	KINROSS,2011
RPG-24	499528	6993110	3976,83	16,96	3959,87	nov-10	KINROSS,2011
RPG-25	499427	6992941	3978,83	18,65	3960,18	nov-10	KINROSS,2011
RPG-26	499343	6998561	3927,11	14,22	3912,89	nov-10	KINROSS,2011
RPG-27	499528	6998523	3927,59	52,39	3875,2	nov-10	KINROSS,2011
RPG-28	499541	6998131	3930,86	14,24	3916,62	nov-10	KINROSS,2011
RPG-29	499189	6999457	3919,47	50,79	3868,68	nov-10	KINROSS,2011
RPG-31	496743	6966540	4237	1,88	4235,12	nov-10	KINROSS,2011
RPG-32	494519	6961979	4274,51	23,83	4250,68	nov-10	KINROSS,2011
RPG-33	499344	6988523	4026,57	61,35	3965,23	nov-10	KINROSS,2011
RPG-34	496961	6993813	4229,68	79,32	4150,36	nov-10	KINROSS,2011
RPG-35	498077	6988961	4055,68	44,2	4011,48	nov-10	KINROSS,2011
RPG-38	494598	6962292	4277,05	27,26	4249,8	nov-10	KINROSS,2011
RPG-39	498586	6992298	4019,18	45,94	3973,24	nov-10	KINROSS,2011
RPG-40	502057	6991129	4067,72	102,07	3965,65	nov-10	KINROSS,2011
RPG-41	500928	6990553	4040,76	77,83	3962,93	nov-10	KINROSS,2011
RPG-42	500196	6991154	4020,16	57,7	3962,46	nov-10	KINROSS,2011
RPG-43	499278	6992137	3986,42	23,92	3962,5	nov-10	KINROSS,2011
RPG-44	498631	6990994	3996,97	32,44	3964,53	nov-10	KINROSS,2011

Pozo	Este [m]	Norte [m]	Elevación [m s.n.m.]	Nivel de agua [mbnt]	Elevación NE [msnm]	Fecha medición	Fuente
RPG-21	494532	6961973	4274,65	24	4250,65	nov-10	KINROSS,2011
RPG-30	499553	6998123	3930,75	14,02	3916,73	nov-10	KINROSS,2011
PTG -1A	497006	6993950	4229,41	79,56	4149,85	ene-11	KINROSS,2011
PTG- 2A	497299	6993943	4269,2	170,08	4099,12	ene-11	KINROSS,2011
PTG -3A	497226	6994203	4268,85	111,63	4157,22	ene-11	KINROSS,2011
PTG -4A	496979	6994215	4319,4	130,05	4189,35	ene-11	KINROSS,2011
PTG -5B	497477	6994257	4258,54	180,57	4077,97	ene-11	KINROSS,2011
PTG -6A	497158	6994495	4339,88	50,6	4289,28	ene-11	KINROSS,2011
PTG -7A	496763	6993979	4320,79	169,4	4151,39	ene-11	KINROSS,2011
PTG-8A	496552	6987436	4159,02	32,91	4126,11	ene-11	KINROSS,2011
PTG-9A	496449	6987920	4233,95	105,62	4128,33	ene-11	KINROSS,2011
PTG-10A	496235	6987711	4212,22	81,97	4130,25	ene-11	KINROSS,2011
PTG-11A	496149	6987200	4375,82	249,02	4126,8	ene-11	KINROSS,2011
PTG-12A	496672	6986931	4194,92	67,12	4127,8	ene-11	KINROSS,2011
PTG-13A	497044	6987773	4259,49	131,19	4128,3	ene-11	KINROSS,2011
PTG-14A	496036	6987999	4308,53	177,43	4131,1	ene-11	KINROSS,2011
SR-3	493204	7032428	3758,1	7,8	3750,3	ago-89	DGA, 2010
SR-4	492144	7031615	3771	21,1	3749,9	ago-89	DGA, 2010
SR-6	491489	7033305	3776	23,2	3752,8	ago-89	DGA, 2010
SP-2	491131	7029861	3773,6	23,9	3749,7	ago-89	DGA, 2010
SP-1	494000	7014252	3771,4	8,3	3759,9	ago-10	ANDINA, 2012
SR-1	495151	7016398	3769,3	7,7	3761,6	ene-10	ANDINA, 2012
SP-4	490652	7007701	3802,5	37,7	3746,6	jun-09	ANDINA, 2012
SP-3	491451	7008050	3807,4	42,5	3757,2	jun-09	ANDINA, 2012
SR-2	492295	7008332	3811,9	8,3	3762,2	ago-10	ANDINA, 2012
CAN-6	498052	7021792	3781	19,5	3761,5	dic-91	ANDINA, 2012
M01	483815	7003274	3775	0,46	3774,54	oct-10	ANDINA, 2012
M02	484288	7004376	3769	0,27	3768,73	jul-10	ANDINA, 2012
M03	484789	7005534	3769	0,17	3768,83	jul-10	ANDINA, 2012
M04	485384	7006873	3768	1,55	3766,45	jul-10	ANDINA, 2012
M05	485956	7008319	3767	0	3767	jul-10	ANDINA, 2012
M06	484559	7004241	3774	0	3774	jul-10	ANDINA, 2012
M07	485504	7006753	3769	0,62	3768,38	jul-10	ANDINA, 2012
M08	486122	7008223	3770	0,15	3769,85	jul-10	ANDINA, 2012
CRO-1	500142	6985381	4059,8	15,96	4043,84	oct-11	ANDINA, 2012
CRO-2	500087	6985044	4063,93	20,21	4043,72	oct-11	ANDINA, 2012
CRO-3	499917	6984589	4069,44	2,4	4067,04	oct-11	ANDINA, 2012
CRO-4	499650	6984028	4081,97	8,21	4073,76	oct-11	ANDINA, 2012
CRO-5	499685	6983522	4082,39	3,08	4079,31	oct-11	ANDINA, 2012
CRO-6	499391	6981035	4098,39	4,74	4093,65	oct-11	ANDINA, 2012
CRE-1	5000030	6987642	4038,23	56,2	3982,03	nov-11	ANDINA, 2012
CRE-2	501012	6987218	4064,62	58,2	4006,42	nov-11	ANDINA, 2012
CRB-1	499943	6987559	4037,15	59,7	3977,45	nov-11	ANDINA, 2012
ANDINA-1	500390	6985526	4060	18,1	4041,9	nov-11	ANDINA, 2012
ANDINA-2	500494	6986009	4055,09	12,55	4042,54	nov-11	ANDINA, 2012
ANDINA-3	500270	6985660	4059,69	18,11	4041,58	nov-11	ANDINA, 2012

Pozo	Este [m]	Norte [m]	Elevación [m s.n.m.]	Nivel de agua [mbnt]	Elevación NE [msnm]	Fecha medición	Fuente
ANDINA-4	500293	6985995	4056,02	13,8	4042,22	nov-11	ANDINA, 2012

FIGURA 10.2-47
PIEZOMETRÍA CUENCA DEL SALAR DE MARICUNGA



d) Constantes Elásticas

Para la determinación de las constantes elásticas se cuenta con información de pruebas de bombeo (algunas con pozos de observación) y Packer Test.

Los datos de las pruebas de bombeo practicadas se presentan en el Cuadro 10.2-31, en donde se observa que las constantes de transmisividad (T) y coeficiente de almacenamiento (S), indican la presencia de un acuífero libre, alojado en sedimentos de grano medio a grueso, de muy buenas características hidráulicas, que en algunas zonas se ven disminuidas por la cantidad de finos que se presenta en ciertos sectores de la cuenca.

Los ensayos de Packer Test fueron realizados en las rocas presentes en los rajos de Lobo y Marte. Estas pruebas que se fueron realizando en los tramos donde se encuentra el medio saturado en rocas fracturadas. Los valores de conductividad hidráulica promedio obtenido en todos los tramos para cada pozo varían entre 0,01 y 0,24 m/d, lo que indica una permeabilidad media/ baja consistente con el flujo en medios rocosos con una permeabilidad secundaria por fracturamiento y/o alteración hidrotermal.

Se observa en el Cuadro 10.2-31 que los valores de transmisividad obtenidos en los pozos SR-3, 4, 6 y SP-2 (sector Norte del Salar de Maricunga) varían entre 36 - 1.020 m^2/d. No se cuenta con valores del coeficiente de almacenamiento por no contar con datos en pozos de observación al momento de practicar las pruebas de bombeo.

En el sector oriental del salar de Maricunga, se tiene la información del pozo CAN-6, el que indica una T de 159 m^2/d y un S de 1,0 x 10^{-4}, consistente con un acuífero freático con una importante cantidad de sedimentos finos que baja su T.

En el sector Sur del salar de Maricunga existe información de los pozos de bombeo SR-1,2, SP-1, 3, 4 y RPG-30, y de los pozos de observación RPG-26 y 28. De estos pozos se obtiene un valor de T que va entre 2.327-18.400 m^2/d y de S que varía de 0,00004 a 0,04.

En el llano de Ciénaga Redonda se cuenta con datos en los pozos de bombeo Marte N°1, ANDINA-3 y CRB-1, y los pozos de observación ANDINA-1,2,4, CRO-1,2, CRE-1, RPG-23 y 24. De los ensayos practicados se prefieren los valores obtenidos mediante el método de recuperación de Theis, así la transmisividad varía desde los 1.390 a 11.500 m^2/d y el almacenamiento entre 0,02 y 0,08.

En el sector de pampa Pantanillo se observa la presencia del pozo de bombeo RPG-21 y los pozos de observación RPG-21C, RPG-25 y RPG-38. Así de estos se obtiene un rango de T entre 1.437-11.500 m^2/d y un S entre 0,00032 a 0,002.

CUADRO 10.2-31
CONSTANTES ELÁSTICAS DE LA CUENCA DE MARICUNGA

Pozo	Este	Norte	T (m2/d) / K (m/d)	S	Tipo de	Fuente
RPG-30	499.553	6.998.123	8.100 – 14.000	n/a	Bombeo	KINROSS, 2011
Marte N°1	497.006	6.993.950	10.506 – 11.856	n/a	Bombeo	KINROSS, 2011
RPG-21	494.532	6.961.972	2.928	n/a	Bombeo	KINROSS, 2011
RPG-26	499.343	6.998.561	3.500	0,04	Observación	KINROSS, 2011
RPG-28	499.541	6.998.131	11.295 – 14.056	0,00004	Observación	KINROSS, 2011
RPG-23	499.364	6.992.737	10.000 – 11.500	0,002	Observación	KINROSS, 2011
RPG-24	499.528	6.993.109	10.000 – 11.500	0,002	Observación	KINROSS, 2011
RPG-25	499.427	6.992.941	10.000 – 11.500	0,002	Observación	KINROSS, 2011
RPG-38	494.598	6.962.292	1.437	0,00032	Observación	KINROSS, 2011
RPG-21c	494.895	6.962.444	11.293	0,00098	Observación	KINROSS, 2011
PTG -1A	497.006	6.993.950	1,90E-02	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG- 2A	497.299	6.993.943	1,00E-01	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG -3A	497.226	6.994.203	9,20E-02	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG -4A	496.979	6.994.215	1,60E-02	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG -5B	497.477	6.994.257	1,40E-02	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG -6A	497.158	6.994.495	2,40E-01	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG -7A	496.763	6.993.979	1,40E-01	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG-8A	496.552	6.987.436	3,60E-02	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG-9A	496.449	6.987.920	2,70E-02	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG-10A	496.235	6.987.711	3,60E-02	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG-11A	496.149	6.987.200	1,30E-02	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG-12A	496.672	6.986.931	1,50E-02	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG-13A	497.044	6.987.773	1,80E-02	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
PTG-14A	496.036	6.987.999	1,80E-02	n/a	Packer test	KINROSS, 2011
SR-3	493.204	7.032.428	653,6	n/a	Bombeo	DGA, 2009
SR-4	492.144	7.031.615	468	n/a	Bombeo	DGA, 2009
SR-6	491.489	7.033.305	35,8	n/a	Bombeo	DGA, 2009
SP-2	491.131	7.029.861	1.020,30	n/a	Bombeo	DGA, 2009
SP-1	494.000	7.014.252	2.327,10	n/a	Bombeo	DGA, 2009
SR-1	495.151	7.016.398	5.151,30	n/a	Bombeo	DGA, 2009
SP-4 /	490.652	7.007.701	17.200	n/a	Bombeo	DGA, 2009
SP-3	491.451	7.008.050	18.400	n/a	Bombeo	DGA, 2009
SR-2	492.295	7.008.332	5.612,9	n/a	Bombeo	DGA, 2009
CAN-6	498.052	7.021.792	159	1,0 x10-4	Observación	DGA, 2009
ANDINA-3	500.270	6.985.660	1.990	n/a	Bombeo	ANDINA, 2012
CRB-1	499.943	6.987.559	1.710	n/a	Bombeo	ANDINA, 2012
CRE-1	5.000.030	6.987.642	3.880	0,03	Observación	ANDINA, 2012
ANDINA-1	500.390	6.985.526	2.880	0,045	Observación	ANDINA, 2012
ANDINA-2	500.494	6.986.009	2.800	0,031	Observación	ANDINA, 2012
ANDINA-4	500.293	6.985.995	1.650	0,032	Observación	ANDINA, 2012

Pozo	Este	Norte	T (m2/d) / K (m/d)	S	Tipo de	Fuente
CRO-1	500.142	6.985.381	2.650	0,08	Observación	ANDINA, 2012
CRO-2	500.087	6.985.044	1.390	0,023	Observación	ANDINA, 2012

e) Volúmenes Embalsados

En ésta cuenca existen dos modelos de simulación numérica desarrollados por ANDINA, 2012. El de más al Norte se encuentra ubicado en el sector sur del Salar de Maricunga, hasta la desembocadura de la quebrada Ciénaga Redonda. El otro modelo, desarrollado por CPH, 2012, se ubica entre el llano de Ciénaga Redonda y en el sector de la vega Barros Negros. Adicionalmente se cuenta con la estimación del volumen embalsado en el sector de pampa Pantanillo, Minera Refugio, 1992.

De acuerdo a esto, se presenta la estimación de los volúmenes embalsados que se pueden inferir de estos estudios, aunque al no contar con el dato exacto de las calibraciones en régimen transiente de los modelos, de donde es posible obtener el valor del "storage" o del volumen almacenado en el acuífero, se realizan estimaciones de las áreas donde se encuentren sedimentos aflorando, con los coeficientes de almacenamiento usados en la modelación y un espesor de acuífero saturado, obtenido de los perfiles hidrogeológicos y de los datos de pozos presentados en ambos estudios de modelación.

Para las zonas donde no existe información publicada, se asumen dentro de las 3 zonas que se diferencian en los 3 estudios mencionados. Así, se considera un primer sector que comprende la subcuenca del Salar de Maricunga, a continuación le sigue el sector de la Quebrada Ciénaga Redonda, incluyendo el llano Ciénaga Redonda, las quebradas Villalobos y de Los Patos, y por último el sector que comprende desde la vega Barros Negros hasta la pampa Pantanillo.

En el sector de la subcuenca del Salar de Maricunga, se cuenta con la información de las modelaciones realizadas por ANDINA, 2012 y por KINROSS, 2011, pero que abarcan principalmente el sector sur del Salar de Maricunga, y el segundo además del sector sur del salar, abarca parte del llano de Ciénaga Redonda. Se ocuparan entonces los datos de coeficiente de almacenamiento utilizado en el modelo de ANDINA, 2012, y de espesor saturado medio, para extrapolarlos en la caracterización del sector Norte del Salar de Maricunga. Así, el coeficiente de almacenamiento corresponde a 10%, mientras que el espesor saturado varía entre 50 y 200 m, por lo que se opta por un valor conservador de 100 m de espesor saturado. Luego con el valor de la superficie de sedimentos en la subcuenca del salar de Maricunga, que equivale a 733,8 km^2. Dando por resultado un volumen embalsado para la subcuenca del Salar de Maricunga de 8.806 Mm^3.

Los valores utilizados para la estimación se presentan en el Cuadro 10.2-32.

Además se tiene cuenta del estudio que también aparece en ANDINA, 2012, pero corresponde a la modelación efectuada por CPH y Asociados S.A., 2012, donde se detalla la información del modelo numérico. De él se obtiene un valor de coeficiente de almacenamiento en dos escenarios, uno de 5% y otro de 15%, siendo concordantes con estos, es que se calcularan volúmenes embalsados con el coeficiente de almacenamiento medio de 10%, con el fin de mantener un criterio conservador en la estimación de éste valor.

El espesor de sedimentos saturados es muy variable, siendo de 45 m en las zonas con afloramiento de vegas, hasta mayor de 200 en la parte central del llano de Ciénaga Redonda, considerando entonces un espesor saturado medio de 90 m. La superficie de sedimentos saturados corresponde a 126,5 km^2. Luego con estos valores se obtiene un valor de volumen almacenado de 1.139 Mm^3. La información utilizada en esta determinación se presenta a continuación en el Cuadro 10.2-33.

Se cuenta con la estimación del volumen embalsado calculado en el EIA del proyecto minero Refugio, que cita a su vez el estudio de SITAC, 1992, donde se utiliza la información de 3 pozos (RA-1, RA-2, RA-3), ubicados en el sector de Pantanillo. Para efectos de este informe, se utilizarán sólo los parámetros de espesor saturado (45 m) y de coeficiente de almacenamiento de 15%. La superficie del acuífero es correlacionada desde la pampa Pantanillo hasta los sedimentos presentes en la vega de Barros Negros, totalizando así una superficie de 83,82 km^2 En el Cuadro 10.2-33, se observan los datos utilizados para calcular el volumen almacenado, el que da por resultado: 565,8 Mm^3.

CUADRO 10.2-33
VOLUMEN ALMACENADO EN LA CUENCA DEL SALAR DE MARICUNGA

Espesor saturado (m)	Superficie (m2)	Coeficiente de Almacenamiento	Volúmen Almacenado (m3)	Sector/SubCuenca
120	733.800.000	0,1	8.805.600.000	1/Salar de Maricunga
90	126.500.000	0,1	1.138.500.000	2/Ciénaga Redonda
45	83.820.000	0,15	565.785.000	3/Barros Negros-Pantanillo
		Total	**10.509.885.000**	**Total**

El total del volumen embalsado presente en la cuenca del Salar de Maricunga equivale a 10.510 Mm^3.

Las prospecciones que se recomiendan realizar en la cuenca del Salar de Maricunga se ubican en zonas donde no existe información publicada, en particular se apunta a

mejorar el conocimiento del sector nororiental y oriental del Salar de Maricunga. Además de realizar estudios en las zonas altas de las quebradas Los Patos y Pampa de Valle Ancho (puesto que en ambas zonas la gravimetría indica sectores donde se profundiza el basamento y aumentan el espesor de los sedimentos), y en los sectores con escasa información entre la vega Barros Negros y la pampa Pantanillo (principalmente para evaluar las distintas piezometrías que se han efectuado en estos sectores).

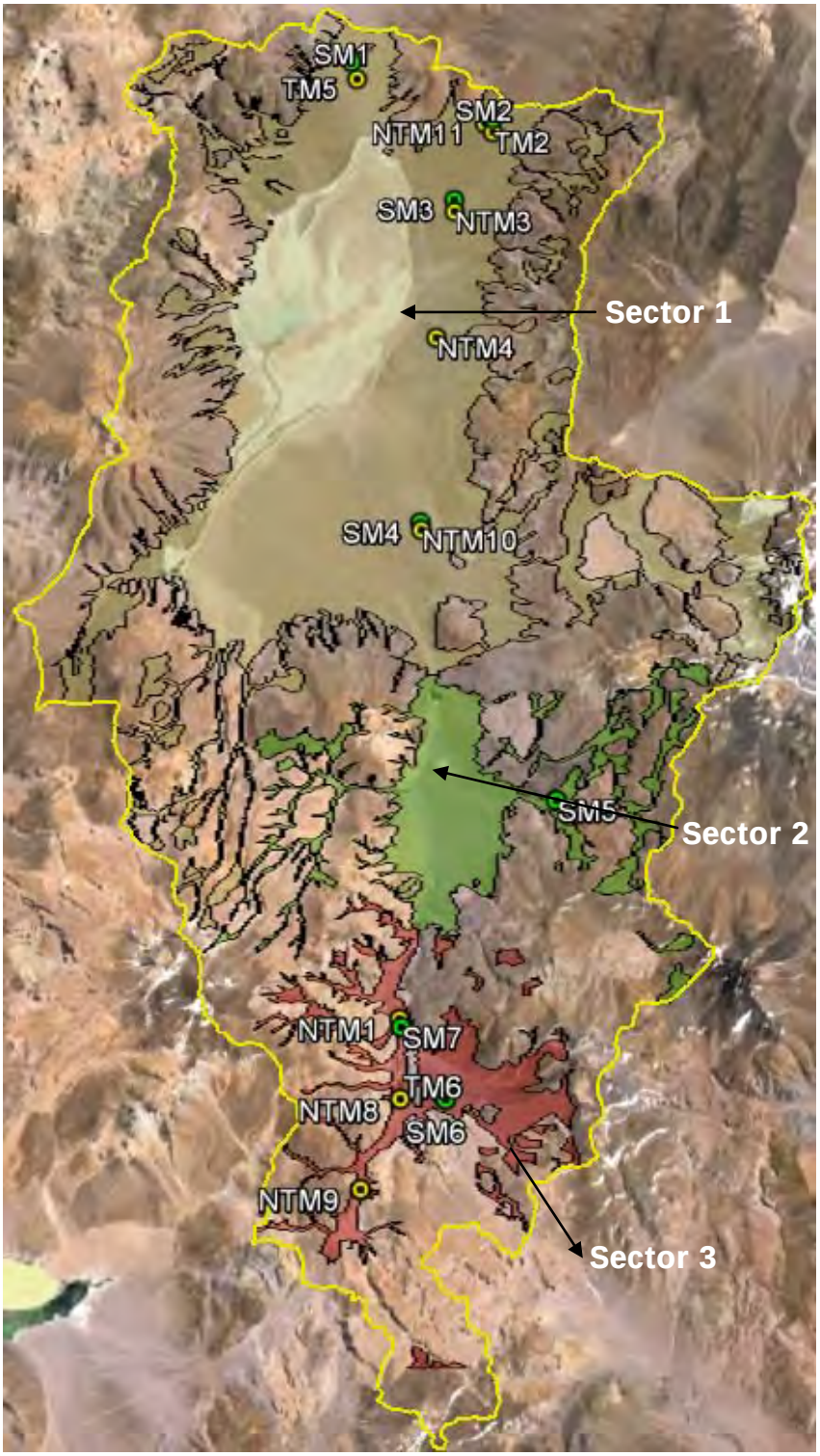
De tal forma, se propone la construcción de 7 sondajes de escaso diámetro, con profundidades que varían entre los 50 y los 150 m, dependiendo de la profundidad de la napa en el acuífero sedimentario, y de la profundidad a la que se encuentre la capa más conductiva, asociada a la roca fracturada/alterada. Además se recomienda la medición de 8 estaciones NanoTEM y de 3 estaciones TEM, totalizando así 11 estaciones geofísicas para la cuenca del Salar de Maricunga.

Las coordenadas y las profundidades propuestas para las prospecciones se presentan en el Cuadro 10.2-34. De la misma forma, en la Figura 10.2-48, se observa la ubicación de los nuevos trabajos propuestos y de los sectores utilizados para estimar los volúmenes almacenados.

CUADRO 10.2-34
PROSPECCIONES PROPUESTAS EN LA CUENCA SALAR DE MARICUNGA

Piezometros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Tipo	Profundidad (m)
SM1	492.268	7.035.966	Piezómetro	120
SM2	501.235	7.032.275	Piezómetro	120
SM3	499.170	7.027.058	Piezómetro	50
SM4	498.348	7.006.881	Piezómetro	150
SM5	507.404	6.990.148	Piezómetro	120
SM6	501.878	6.972.790	Piezómetro	120
SM7	499.056	6.976.936	Piezómetro	60
TM2	501.284	7.031.392	TEM	300
TM5	492.679	7.034.868	TEM	300
TM6	501.683	6.973.028	TEM	300
NTM1	498.931	6.977.391	NanoTEM	60
NTM10	498.432	7.006.426	NanoTEM	60
NTM11	500.765	7.031.969	NanoTEM	60
NTM3	499.230	7.026.313	NanoTEM	60
NTM4	498.609	7.018.331	NanoTEM	60
NTM7	501.901	6.973.064	NanoTEM	60
NTM8	499.249	6.972.823	NanoTEM	60
NTM9	497.265	6.967.688	NanoTEM	60

FIGURA 10.2-48
UBICACIÓN DE LAS PROSPECCIONES PROPUESTAS Y LOS SECTORES DEFINIDOS EN LA CUENCA SALAR DE MARICUNGA



10.2.9. Cuenca N° 1. Laguna del Negro Francisco

a) Acuíferos

La cuenca de la Laguna del Negro Francisco presenta una superficie de 906 km^2, con una cota media de 4.552 msnm (Figura 10.2-43). Su principal rasgo fisiográfico corresponde a una depresión volcano-tectónica, con relleno sedimentario que alberga a la laguna homónima.

Los principales recursos hidrogeológicos se alojan en los acuíferos sedimentarios del río Astaburuaga y en los llanos de la Sal, Azufre y Negro Francisco, los cuales son recargados principalmente por cauces superficiales (ríos Astaburuaga, de la Sal, la Gallina, etc.) y en menor medida, por la fusión de la nieve que los cubre temporalmente.

Se distinguen 3 áreas de importancia hidrogeológica, la primera la constituye el acuífero intergranular del río Astaburuaga. Este alcanza su mayor extensión en Pampa Pantanillo (por donde pasa la divisoria de las cuencas de Maricunga y del Negro Francisco), donde existen 3 pozos de extracción (RA-1, 2 y 3) en el lado de la cuenca de Maricunga), pertenecientes a la minera Refugio (REF-23), con espesores medios de 58 m del acuífero y caudales máximos bombeados de hasta 120 l/s y métodos geofísicos TEM y NanoTEM.

En la segunda área están los acuíferos de la depresión de la cuenca, donde no se han perforado pozos, pero si existen métodos geofísicos gravimétricos y eléctricos (sondajes eléctricos verticales SEV). Y la tercera corresponde a las áreas aledañas a los volcanes Azufre y La Laguna, donde también existen métodos geofísicos.

En la depresión principal de la cuenca se observan acuíferos intergranulares de los llanos de la Sal y del Negro Francisco. Los del llano de la Sal son recargados por los ríos Astaburuaga y de la Sal, corresponden a acuíferos del tipo libre, aunque, en las cercanías de la Laguna se interdigitan con depósitos lacustres, constituyendo acuíferos confinados a semi confinados. Aquellos del llano del Negro Francisco son recargados por el río Astaburuaga y por los cauces superficiales y subterráneos que drenan el extremo Sur de la hoya, sus acuíferos serían libres y de multicapas, variando a confinados y semi confinados en torno a la laguna.

Menor importancia manifiestan los acuíferos fluvio-aluviales ubicados próximos a la desembocadura de las quebradas Azufre y del río La Gallina, con extensiones menores a 3 km^2. Hacia las desembocaduras con la laguna desarrollan acuíferos libres a semi confinados.

Se presume la ocurrencia de acuíferos fracturados ubicados, en parte, bajo la depresión (en sectores menos profundos); corresponderían a rocas volcánicas

basálticas jurásicas y triásicas, en situación de drenar parte del flujo profundo que se infiltra en la zona del llano del Negro Francisco. Otros acuíferos fisurados podrían desarrollarse en algunos flujos ignimbríticos adyacentes al volcán Azufre y en lavas basálticas del Oligoceno (nacientes del río Astaburuaga) y del Mioceno superior (cerro La Gallina). (Ref. 32).

FIGURA 10.2-49
CUENCA Nº 1. LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO

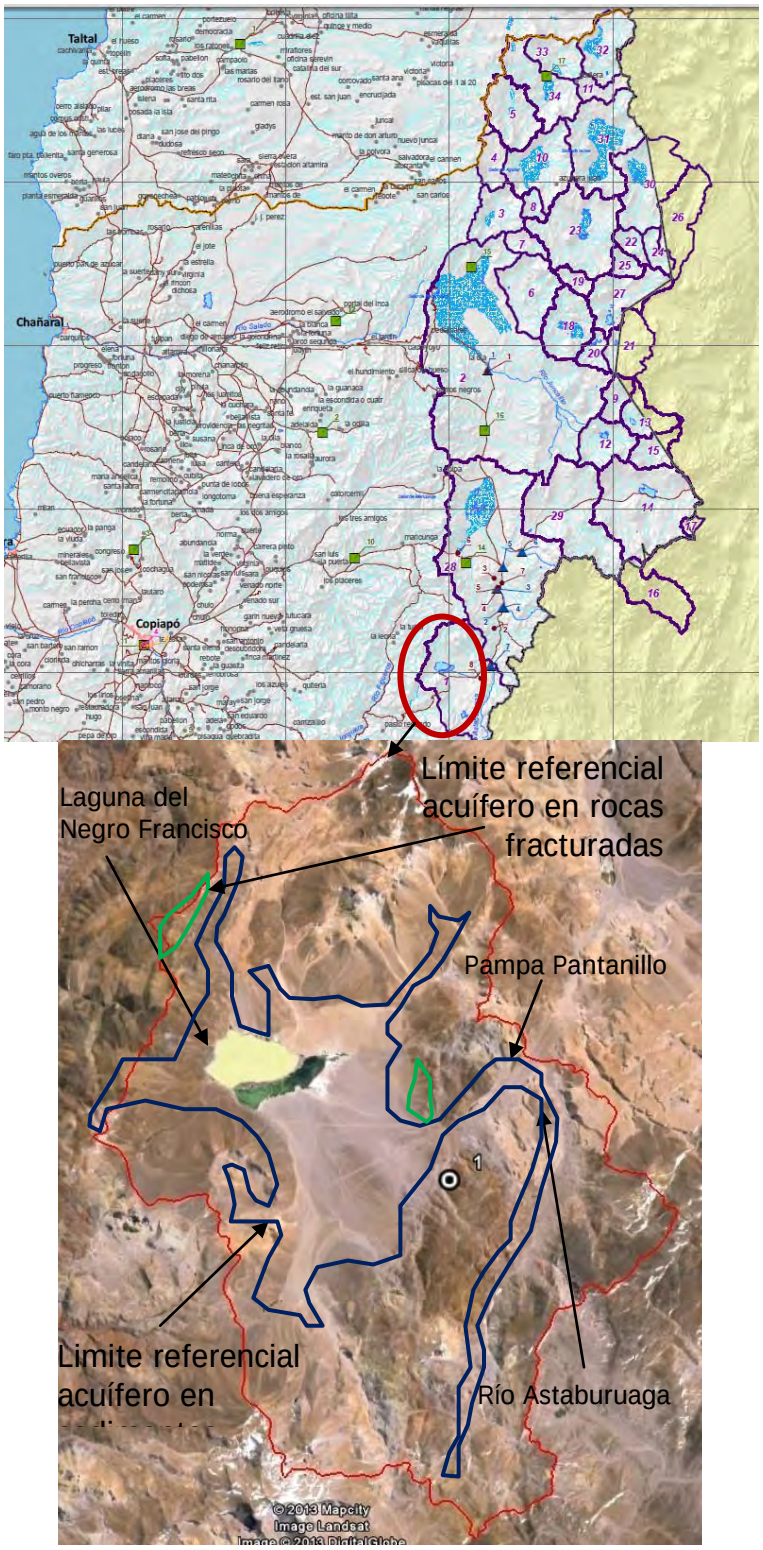
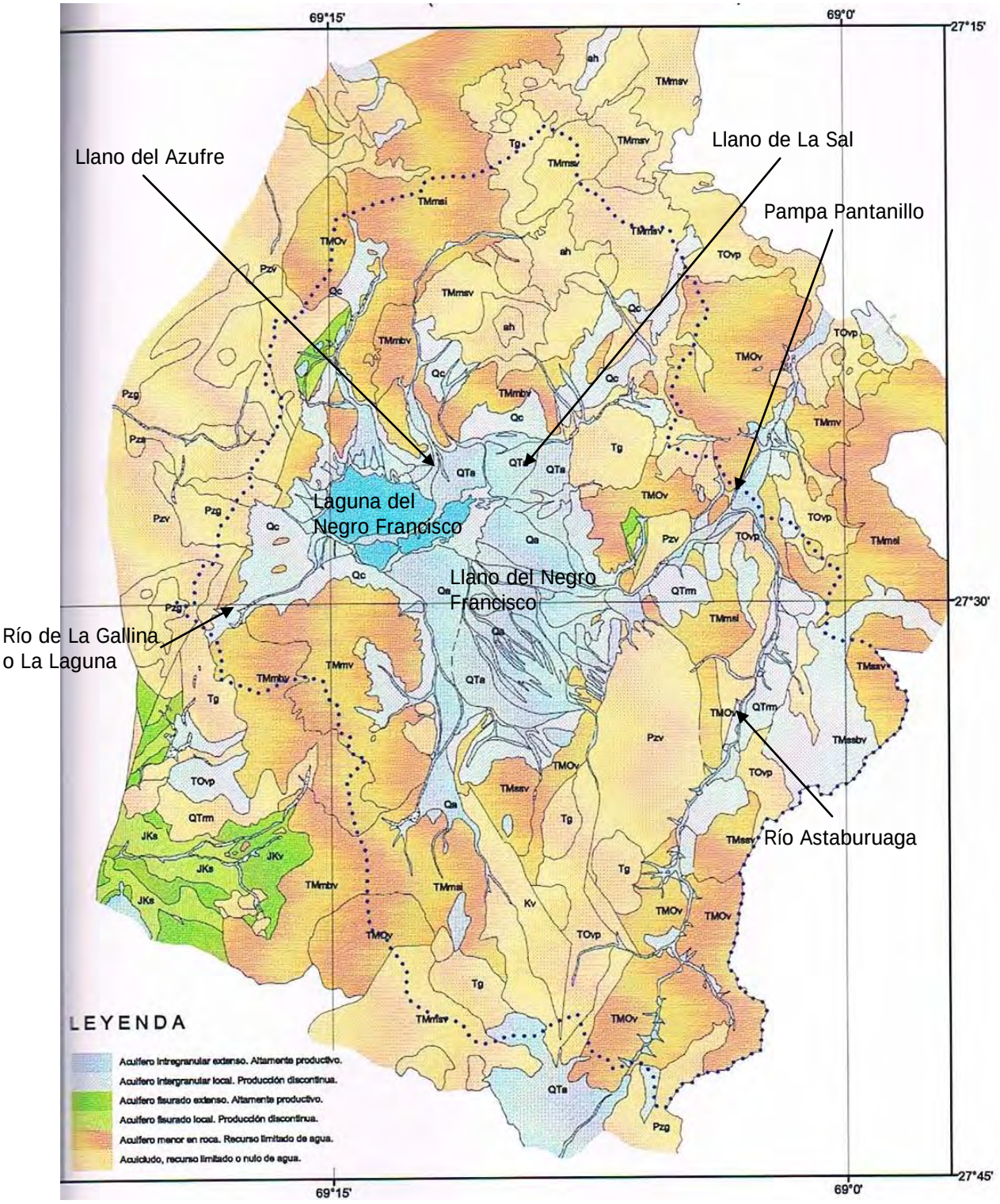


FIGURA 10.2-50
MAPA HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL NEGRO FRANCISCO
FUENTE: VENEGAS, 1999



b) Exploración Geofísica

En esta cuenca se han desarrollado métodos geofísicos gravimétricos, eléctricos (sondajes eléctricos verticales SEV, transientes electro magnéticos (TEM y NanoTEM) y de anomalías de Bouguer, los que determinaron que el relleno de la cuenca alcanza los mayores espesores bajo los llanos del Negro Francisco, de la Sal y en el sector noroeste de la laguna, mientras que, en apariencia, los menores espesores del relleno sedimentario se ubicarían al Sur y sureste de la laguna.

Perfiles eléctricos realizados cerca de los volcanes La Laguna y Azufre, indicaron la existencia, de, al menos, 2 unidades geoeléctricas, una somera con resistividad moderada (20 a 30 ohm*m), interpretada como sedimentos saturados con aguas relativamente dulces; y una más profunda, con muy baja resistividad (2-6 ohm*m), subyacente a la primera y bajo los volcanes Azufre y La Laguna, la que se interpreta como sedimentos saturados con agua salada o depósitos salinos miocenos. Aunque no se pudo determinar la profundidad del basamento con los SEV, ésta se presume mayor que 500 m (REF- 32).

Según los estudios realizados por Reitmayr, 1999, citado en Venegas, 1999, se observa la medición de 3 perfiles SEV, cuya ubicación se presenta en la Figura 10.2-51, y los resultados de el perfil L en la Figura 10.2-52.

En el perfil L es posible advertir que bajo los depósitos del volcán Azufre se encuentra una capa que presenta resistividades del orden de los 100-400 ohm*m, que se interpretan como depósitos netamente volcánicos. Bajo ésta se encuentra una capa con resistividades del orden de los 20-55 ohm*m, que se asocia con una capa saturada en agua, que dada sus condiciones de entrampamiento podría tratarse de un acuícludo. Debajo de ella, se encuentra una capa con las resistividades más bajas registradas en este perfil, del orden de los 9-18 ohm*m. Según Reitmayr, estas resistividades no podrían corresponder a nada más que a una capa saturada en sales, debido a que la sal se comporta como conductor y se obtienen por lo tanto valores tan bajos de sus resistividades.

Por otra parte se realizó el cálculo de la profundidad de la cuenca, por medio de la fórmula de la Anomalía de Bouguer. Se consideraron diferentes valores para las constantes de densidad y se encontraron valores entre los 400 m y los 800 m, lo que daría un promedio de la profundidad de la cuenca de alrededor de 600 m.

Los perfiles TEM y NanoTEM medidos en esta cuenca por GOLDER, 2011 se ubican en el límite entre la subcuenca de Ciénaga Redonda y la cuenca del Negro Francisco, en particular en el sector donde el río Astaburuaga cambia su dirección de escorrentía

hacia el Sur Este. Corresponden a los perfiles TEM y NanoTEM 10 y 24 para cada método. La ubicación de estos perfiles se presenta en la Figura 10.2-53 y las resistividades medidas en estos perfiles se observan en la Figura 10.2-54.

En los perfiles NanoTEM se observa en superficie una capa de resistividad media a alta, asociada a depósitos no consolidados sin presencia de agua. Bajo esta capa se observa una capa con una resistividad media a baja la que se interpreta como sedimentos que presentan saturación y que constituye el acuífero principal en el río Astaburuaga. Debajo de esta capa en la zona central del perfil L10 se observa una zona de resistividad alta a media, la que se puede interpretar como sedimentos secos o roca sin alteración/fracturamiento.

Más abajo se vuelve a encontrar una zona de resistividad media a baja y en algunas zonas muy baja, la que se correlaciona con el contacto roca relleno, el cual puede presentar una cantidad importante de arcilla conductiva que estaría disminuyendo la resistividad y/o la presencia de agua en el contacto roca/relleno donde la roca se encuentra con una mayor alteración/fracturamiento. Finalmente se observa una capa de resistividad alta a muy alta, la que correspondería al basamento impermeable.

FIGURA 10.2-51
UBICACIÓN DE LOS PERFILES SEV Y GRAVIMÉTRICOS

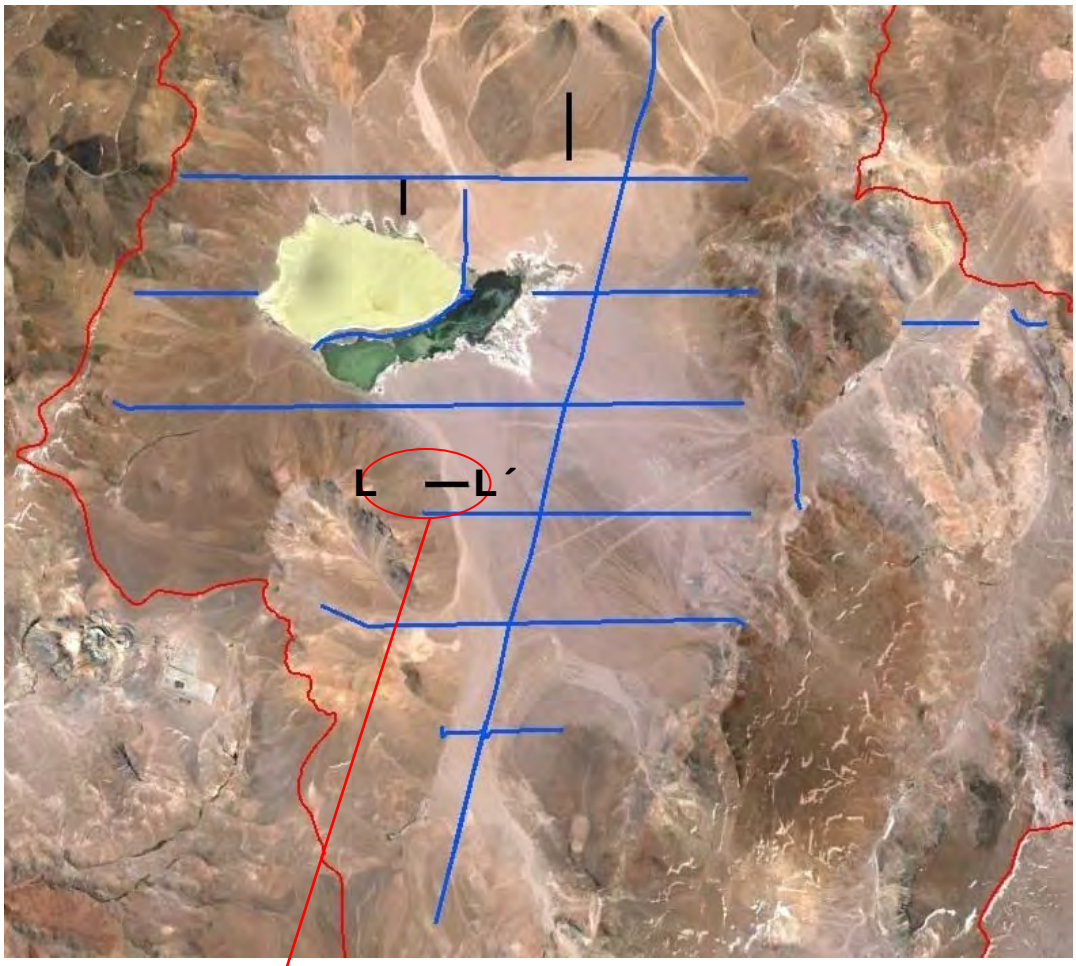


FIGURA 10.2-52
PERFIL SEV L-L'

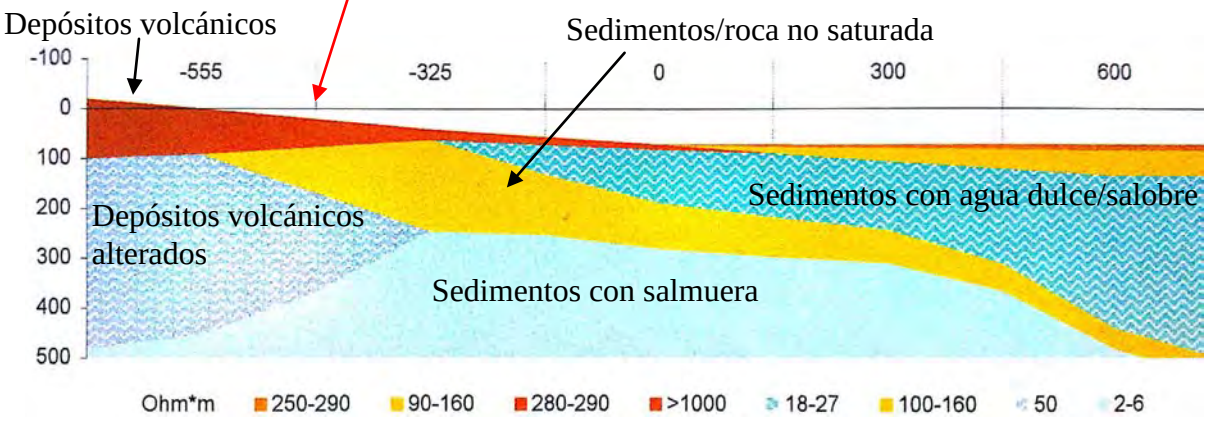


FIGURA 10.2-53
UBICACIÓN DE LOS PERFILES TEM Y NANOTEM, KINROSS. Y PUNTOS TEM PRESENTE TRABAJO

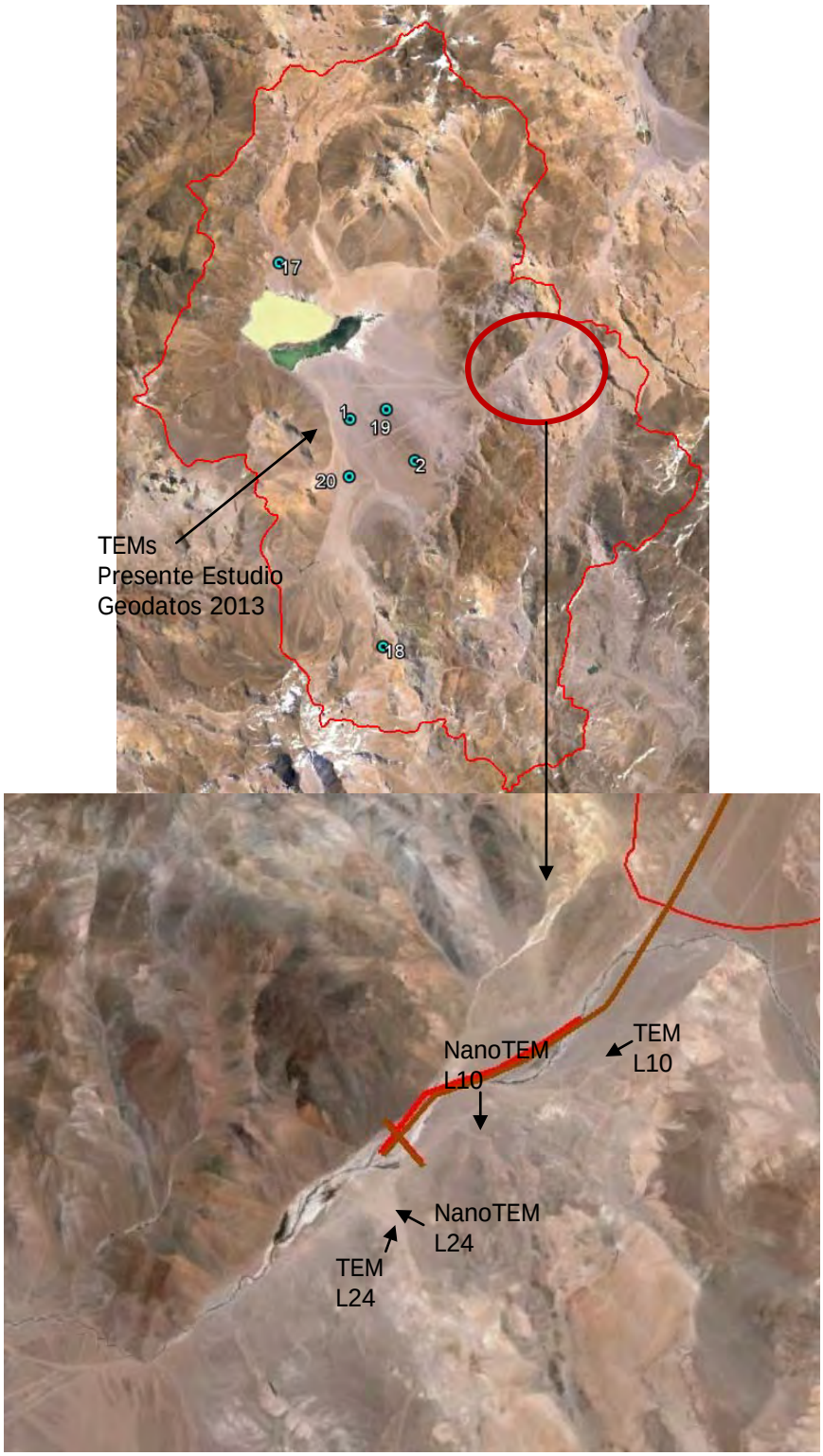


FIGURA 10.2-54
PERFILES NANOTEM MODELO DE RESISTIVIDAD DE CAPAS 1D
ARRIBA LÍNEA 10, ABAJO LÍNEA 24

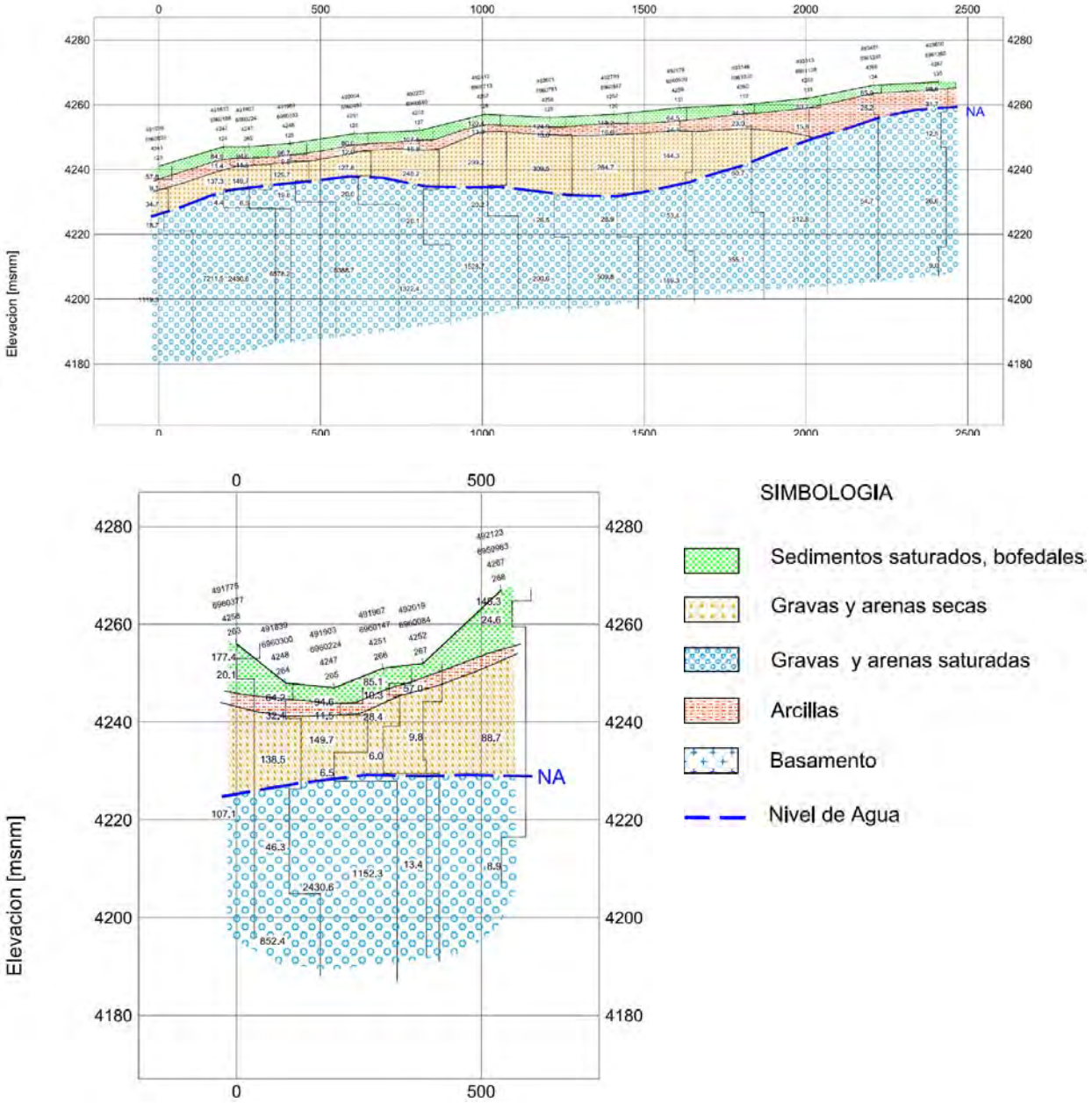
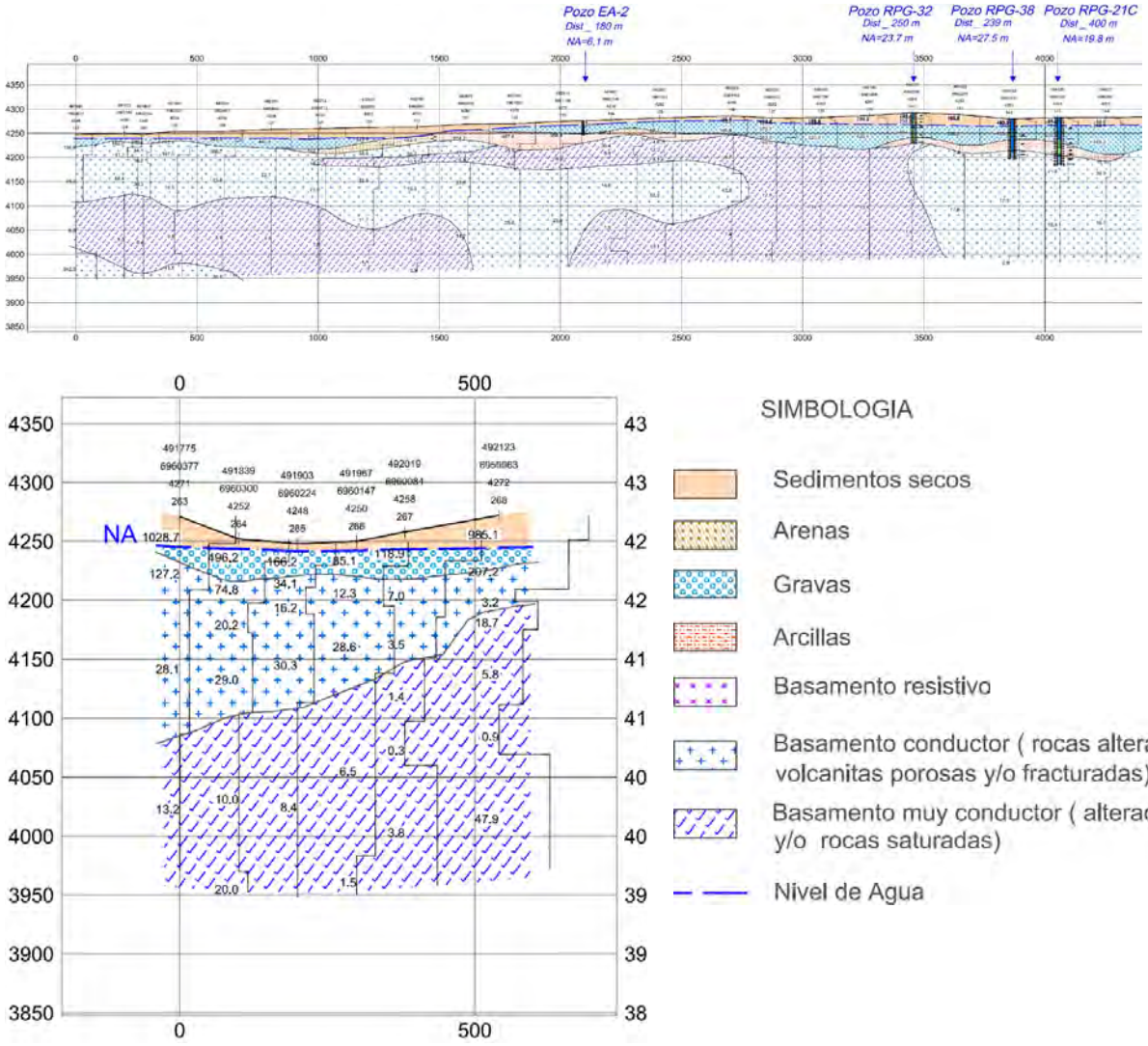


FIGURA 10.2-54 (CONTINUACIÓN)
PERFILES TEM MODELO DE RESISTIVIDAD DE CAPAS 1D
ARRIBA LINEA10, ABAJO LÍNEA 24



En los perfiles TEM presentados previamente se observa una capa superficial interpretada como depósitos no consolidados secos. Bajo ésta se observa una capa discontinua con resistividades que van de media a muy baja, interpretada como gravas saturadas. Por debajo en algunas zonas se observan lentes de arcilla con espesores moderados a bajos. Finalmente se observa un basamento compuesto por rocas con zonas conductivas y otras muy conductivas, interpretadas como zonas con fracturas/alteración y alteradas/saturadas respectivamente.

Adicionalmente, en esta cuenca como parte de los trabajos de terreno complementarios en este estudio, se midieron en terreno 6 estaciones TEM (1, 2, 17, 18, 19 y 20). En el Anexo 10-1 se incluye en detalle el trabajo efectuado por la empresa Geodatos.

Las unidades resistivas definidas por Geodatos corresponden a:

- **Unidad Alta Resistividad:** Corresponde a una unidad de resistividades que superan los 1000 [Ohm-m], con potencias comprendidas entre 20 a 60 metros. Pudieran interpretarse como: Sedimentos Secos de origen fluvial y/o aluvial, de diversas granulometrías (desde bolones a limos).

- **Unidad Media Resistividad:** A una profundidad intermedia se sitúa este segundo dominio comparativamente más conductor, con resistividades que descienden hasta los 100 [Ohm-m] (e incluso un orden menor en el caso de las estaciones 17 y 18). En particular el sondeo 20 tiene un comportamiento distinto, observando un incremento de la resistividad, como se puede observar en las interpretaciones individuales, presentadas en el Anexo 10-1. Esta unidad, en la mayoría de las estaciones puede interpretarse como: Depósitos Volcánicos y volcanoclásticos que pudieran constituir acuíferos de diferente comportamiento.

- **Unidad Baja Resistividad:** Esta tercera unidad, es la de menor resistividad comparativamente, presentando rangos de resistividad eléctrica en torno a los 10 [Ohm-m] e inferiores en el caso de las estaciones 17 y 18 (cercanas a 1 [Ohm-m]). En general el techo de esta unidad conductora se sitúa en promedio alrededor de los 200 metros de profundidad. Esto pudiera interpretarse como: Rocas Volcánicas Alteradas y/o fracturadas así como también sedimentos consolidados húmedos/saturados. El incremento de conductividad también pudiera atribuirse a un aumento de permeabilidad dado el nivel de meteorización de dicho basamento. En el caso particular de las estaciones 17 y 18, la unidad conductora pudiera asociarse a la presencia de depósitos salinos profundos.

Las 6 estaciones TEM medidas en la cuenca Laguna del Negro Francisco (1, 2, 17, 18, 19 y 20) se ubican en zonas donde no se contaba con información de geofísica tipo TEM, si se cuenta en la mayoría de ellas con información de gravimetría del SERNAGEOMIN, 1998, y la estación 1 se encuentra a 1 km aproximadamente del perfil SEV L. Sólo la estación 18 no posee vecindad con ningún método geofísico.

En general se pueden agrupar en dos grupos de acuerdo a lo que las unidades resistivas/estratigráficas definidas por Geodatos. En el primer grupo se tienen a las estaciones 2 y 17, mientras que en el segundo grupo quedan las estaciones 1,18, 19 y 20.

En las estaciones 2/17 se observan en superficie aproximadamente 40/70 m de sedimentos secos de origen fluvial y/o aluvial, de diversas granulometrías (desde bolones a limos). A continuación le siguen 40 m en ambas estaciones, de depósitos volcánicos y volcanoclásticos (siendo este el posible acuífero), luego continúan 170/100 m de los mismos depósitos pero con una menor resistividad indicando probablemente un mayor aumento de las fracturas/porosidad. Finalmente se observan 150/190 m de rocas volcánicas alteradas / fracturadas y\o sedimentos consolidados húmedos\saturados.

En el segundo grupo de las estaciones 1/18/19/20 se reconocen desde el techo a la base aproximadamente 30/70/140/90 m de sedimentos secos de origen fluvial y/o aluvial, de diversas granulometrías (desde bolones a limos). A continuación le siguen 150/70/60/20 m de depósitos volcánicos y volcanoclásticos (siendo este el posible acuífero). Finalmente se observan 120/160/100/190 m de rocas volcánicas alteradas / fracturadas y\o sedimentos consolidados húmedos\saturados.

De acuerdo a los antecedentes SEV, se observa que existe cierta coincidencia con las unidades resistivas y estratigráficas definidas en ambos estudios. Además de ser correlacionables los resultados de los perfiles TEM realizados en este estudio con los presentados en los informes de Kinross, 2011.

Así, esta campaña de estaciones TEM permite tener mayor información de las unidades acuíferas, tanto en su distribución espacial, como en la profundidad a la que se encuentran.

c) Niveles de Aguas Subterráneas

Existen 4 fuentes de información para caracterizar la piezometría de la cuenca. En el estudio realizado por Venegas, 1999, se menciona la instalación de 29 piezómetros con registro de nivel, distribuidos en la parte plana de la cuenca, los cuales no sobrepasan los 6 metros de profundidad. La ubicación de estos y sus valores se presentan en el Cuadro 10.2-35.

En el EIA presentado por minera ANDINA MINERALS (AM), se cuenta con información piezométrica en 13 pozos de monitoreo ambiental, de los cuales 5 se encuentran secos y 8 reportan mediciones del nivel estático, su ubicación y nivel se presentan en el Cuadro 10.2-15. La tercera fuente de información corresponde al EIA del proyecto minero Lobo-Marte de KINROSS, en donde se cuenta con información de 4 pozos (RPGs), los que se presentan en el Cuadro 10.2-15. La cuarta fuente corresponde a la memoria de Suazo, 2000, donde se realizó un modelo numérico del área de pampa Pantanillo y se cuenta con la información de 4 pozos de observación (EAs y PO).

En el estudio de Venegas, 1999, se midió la cota de terreno mediante GPS diferencial, y en función de ello se calculó la cota del nivel freático de todos los piezómetros.

En la Figura 10.2-49 se presentan las isopiezas y las direcciones de flujos del agua subterránea. Ésta fluye en las mismas direcciones que las corrientes superficiales. Ésta característica hace que las curvas de isopiezas del mapa presenten formas sinuosas y varíen sus direcciones de flujo, tal como ocurre con los cauces superficiales.

En base a esta figura, se observa que todos los afluentes principales dirigen sus aguas hacia la Laguna del Negro Francisco, es decir forma parte importante de la recarga subterránea de la laguna, alimentando constantemente el acuífero que se encuentra por debajo de ésta.

Los niveles representados por los piezómetros son bastante someros, y dado los antecedentes geofísicos, se podría encontrar un acuífero más profundo.

Del EIA de AM, basándose en la interpretación de fotografías satelitales de los cuerpos de agua superficial, se estima que los niveles de agua subterránea en los tramos medios de la Quebrada Azufre se encuentren entre 4.300 y 4.350 m s.n.m. y hasta 4.800 m s.n.m. en la parte superior de la cuenca.

En el curso principal de la Quebrada de La Sal, la profundidad del nivel de agua subterránea varía entre 1,70 m b.n.t. (VCA-8) y 5,55 m b.n.t. (VCA-6) y los niveles de agua subterránea varían entre 4.348 m s.n.m. (VCA-8) y 4.264 m s.n.m. (VCA-6). Por lo tanto, se estima un gradiente hidráulico en la unidad aluvial de la Quebrada del orden de 0,004, asociado al sistema hidrogeológico somero.

CUADRO 10.2-35
PIEZÓMETROS Y NIVELES MEDIDOS, MODIFICADO DE VENEGAS, 1999

Piezometro	Coord N	Coord E	Cota	Largo total	Cota agua	Prof. Nivel
	(m)	(m)	(m s.n.m.)	(m)	(m s.n.m.)	(m)
P1	6.961.368	474.546	4.125,54	151	4.125,18	0,36
P2	6.964.250	476.462	4.125,34	134	4.125,27	0,07
P3	6.969.207	478.034	4.129,18	167	4.128,34	0,84
P4	6.960.651	480.922	4.125,46	95	4.125,11	0,35
P5	6.964.287	477.803	4.128,47	275	4.126,97	1,50
P6	6.964.661	476.193	4.127,26	260,5	4.126,75	0,51
P7	6.964.461	476.535	4.121,21	303	4.120,60	0,61
P8	6.963.464	475.125	4.126,06	240	4.124,24	1,82
P9	6.968.851	478.415	4.132,98	468	4.129,69	3,29
P10	6.968.810	478.923	4.135,72	577	4.130,57	5,15
P11	6.964.243	478.843	4.128,74	298	4.126,77	1,97
P12	6.963.420	479.811	4.130,79	670	4.126,89	3,90
P13	6.959.759	480.794	4.131,93	434,5	4.128,87	3,06
P14	6.961.728	482.783	4.130,54	134	4.130,05	0,49
P15	6.961.349	483.328	4.135,62	333	4.133,03	2,59
P16	6.961.063	483.808	4.140,85	732	4.134,48	6,37
P18	6.959.372	482.412	4.136,71	651	4.134,28	2,43
P19	6.965.025	476.148	4.130,85	298	4.129,09	1,76
P20	6.963.775	482.695	4.132,16	147	4.130,90	1,26
P21	6.959.339	480.724	4.134,46	630	4.129,62	4,84
P22	6.962.897	483.595	4.132,38	140	4.131,74	0,64
P24	6.963.323	483.774	4.136,54	422	4.132,94	3,60
P28	6.960.999	474.735	4.126,64	177,5	4.126,20	0,44
P29	6.959.537	479.792	4.131,74	646	4.127,83	3,91
P30	6.964.523	476.933	4.128,49	222	4.127,05	1,44
P31	6.962.768	483.903	4.134,68	305	4.132,53	2,15
P42	6.962.900	482.770	4.129,25	230	4.128,32	0,93
P43	6.963.335	482.898	4.131,30	162	4.130,55	0,75

La diferencia de profundidades (del orden de 30 m) de los niveles de agua subterránea en los pozos VCA-06, VCA-07 y VCA-08, representativos de la unidad hidrogeológica asociada a los depósitos sedimentarios de la Quebrada de La Sal y el resto de los pozos VCA representativos de las unidades hidrogeológicas asociadas al basamento rocoso volcánico, ilustran la existencia de dos sistemas hidrogeológicos distintos, el sistema somero con niveles cercanos a la superficie y permeabilidades mayores, y el sistema profundo con niveles de mayores profundidades y permeabilidades menores.

CUADRO 10.2-36
POZOS Y NIVELES, FUENTES: GOLDER, 2010, ANDINA MINERALS, 2012

Pozo	Año	UTM	UTM	Altitud	Diámetro	Prof. del pozo	Prof. del nivel	Nivel
		Norte	Este	(m s.n.m.)		(m)	(m)	(m s.n.m.)
VCA-06	2011	6.967.337	488.819	4.269	4"	46	5,5	4.264
VCA-07	2011	6.969.116	490.587	4.339	4"	49	3,5	4.335
VCA-08	2011	6.969.572	490.678	4.349	4"	31	1,7	4.348
VCA-10	2011	6.967.771	488.748	4.293	4"	54	13,9	4.279
VCA-11	2011	6.971.118	489.104	4.442	4"	90	33,3	4.409
VCA-12	2011	6.968.216	488.444	4.318	4"	107	41,3	4.277
VCA-13	2011	6.969.119	487.968	4.380	4"	94	51,9	4.328
VCA-14	2011	6.970.504	479.052	4.272	4"	35	19,9	4.252
RPG-21	2010	6.961.973	494.532	4.275	16''	120	23,55	4.251
RPG-21c	2010	6.962.445	494.895	4.279	8''	96	19,81	4.259
RPG-32	2009	6.961.979	494.519	4.275	8''	60	23,74	4.251
RPG-38	2010	6.962.292	494.598	4.277	8''	80	27,5	4.250
EA-6	2000	6.959.515	491.207		10''			4225
EA-3	2000	6.962.525	494.516	4.271	10''	60	29	4242
PO-8	2000	6.962.985	494.977	4.262	10''	67,2	18	4244
EA-2	2000	6.961.125	493.511	4.255	10''	25	2	4253

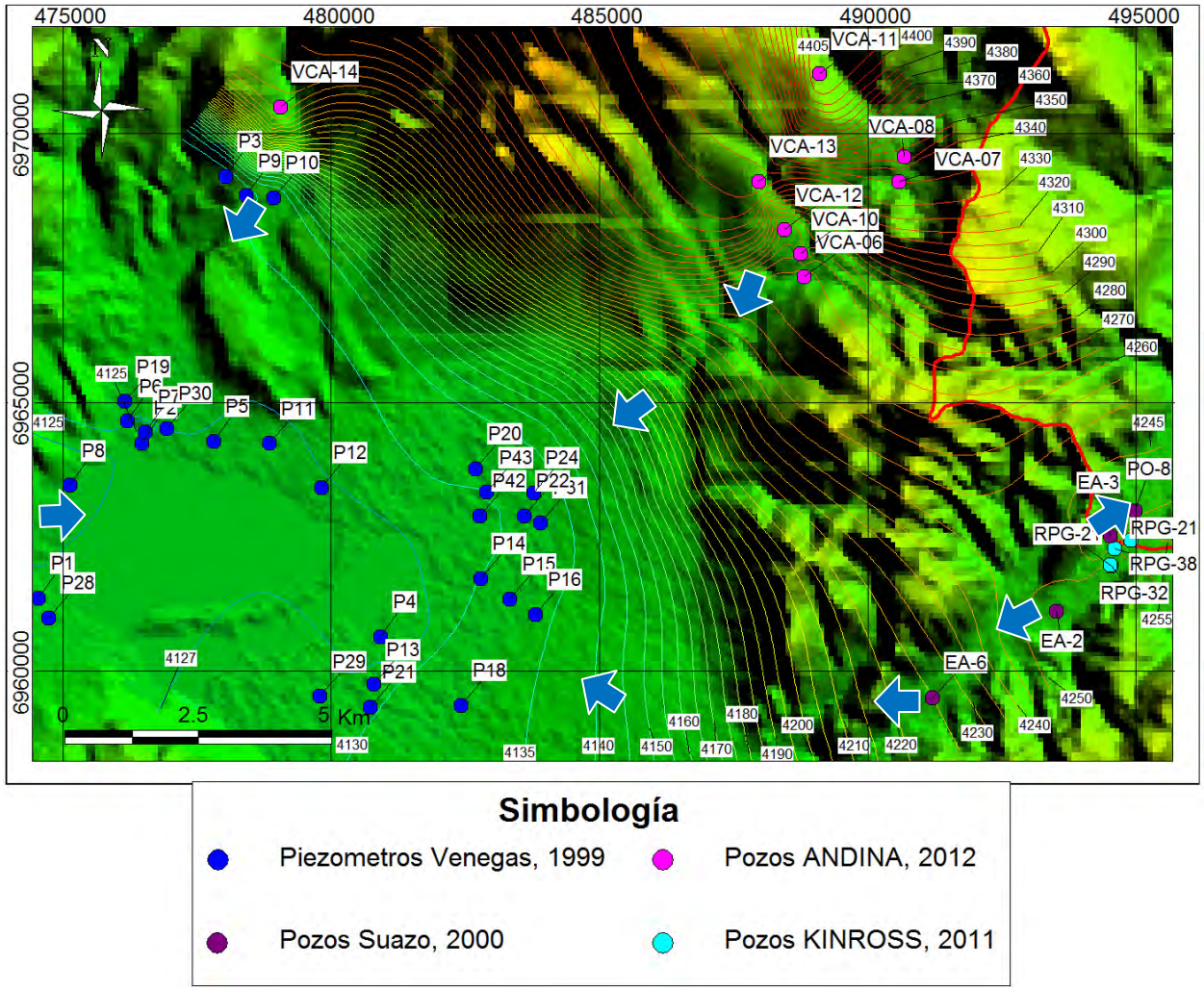
Los niveles de agua subterránea existentes en los sectores bajos cercanos a la Laguna del Negro Francisco se encuentran cerca de la superficie del suelo o sobre ésta, entre 4.135 y 4.200 m s.n.m. Estos niveles representan los niveles de agua subterránea más bajos existentes en la cuenca. El límite superior de los niveles de agua subterránea en el sector bajo sería del orden de 4.260 m s.n.m. en base a la información del pozo VCA-06.

Las direcciones del flujo de agua subterránea son generalmente descendentes desde las divisorias del flujo en el límite de la cuenca hasta el punto de descarga en la Laguna del Negro Francisco. La dirección del flujo de agua subterránea en las quebradas sigue la dirección del drenaje superficial.

En el EIA de KINROSS, se obtiene información de 4 pozos presentes en el abanico fluvial del río Astaburuaga, es decir en la zona donde el río se quiebra hacia el Sur en dirección a la laguna del Negro Francisco. Estos niveles medidos indican que la dirección del flujo subterráneo también se dirige hacia la laguna.

De los pozos presentados en la memoria de Suazo, 2000, es posible inferir que existe una parte del flujo de agua subterránea que va desde la quebrada Astaburuaga hacia el noreste, es decir hacia la subcuenca de la Ciénaga Redonda y otra parte del flujo se va hacia la cuenca de la Laguna del Negro Francisco.

FIGURA 10.2-55
ISOPIEZAS Y DIRECCIONES DE FLUJO



d) Constantes Elásticas

La cuenca de la Laguna del Negro Francisco presenta una superficie que se compone de depósitos consolidados o rocas, tales como cuerpos intrusivos, rocas volcánicas y sedimentarias que corresponden a materiales prácticamente impermeables o con una permeabilidad muy baja, ligada a un fracturamiento primario y/o secundario, lo que impide la infiltración. En cambio, los depósitos aluviales y fluviales que rellenan la depresión sedimentaria de la cuenca, poseen permeabilidad muy alta o alta, debido a las características de los sedimentos, la granulometría y a su alta porosidad intergranular, facilitando el movimiento del agua, dando lugar a una capa delgada de suelo, que facilita la infiltración, (Venegas, 1999).

Los resultados de las pruebas hidráulicas realizadas en el EIA de AM pueden resumirse de la siguiente manera y se presentan en el Cuadro 10.2-37.

CUADRO 10.2-37
ENSAYOS HIDRÁULICOS, FUENTE: ANDINA MINERALS 2012

Pozo	Diámetro de perforación (cm)	Nivel de agua (m s.n.m.)	Tipo de prueba	Número de pruebas	Rango de conductividad (m/s)			Fecha de prueba
GA-07	9,6	4.288	Lefranc	5	1,9x10-9	-	4,4x10-7	nov-11
GA-08	9,6	4.317	Lefranc	2	1,8x10-8	-	8,5x10-7	dic-11
GA-09	9,6	4.327	Lefranc	4	5,5x10-9	-	1,4x10-6	nov-11
GA-13	9,6	4.352	Lefranc	1	1,6x10-8	-	2,1x10-8	dic-11
VCA-06	10,1	4.264	Bombeo constante	1 (12 horas)	1x10-5	-	1x10-4	ene-12
VCA-07	10,1	4.335	Bombeo constante	1 (12 horas)	1x10-5	-	1x10-4	ene-12

Las pruebas de Packer y Lefranc se ejecutaron en rocas volcánicas consolidadas de tipo brechas, tobas dacíticas y rocas piroclásticas. Los valores de conductividad hidráulicas obtenidos varían entre $1{,}9x10^{-9}$ y $1{,}4x10^{-6}$ m/s.

En general, la conductividad hidráulica promedio medida entre 10 y 40 m de profundidad es del orden de $1{,}4x10^{-7}$ m/s mientras que la conductividad promedio entre 40 y 80 m es del orden de $2{,}7x10^{-7}$ m/s.

En el sector del depósito de relaves, la conductividad hidráulica promedio obtenida del sondaje GA-07 es del orden de $6{,}3x10^{-8}$ m/s, mostrando una tendencia de disminución con la profundidad con valores del orden de $3{,}0x10^{-9}$ m/s entre los 50 y 70 m. Sin embargo, los sondajes GA-08 y GA-09 ubicados en un sector fracturado muestran valores de conductividades hidráulicas dispersas, variando entre $5{,}5x10^{-9}$ y $1{,}4x10^{-6}$ m/s, sin mostrar ninguna tendencia con la profundidad, debido probablemente a la alta heterogeneidad de la zona fracturada.

Las conductividades hidráulicas promedio medidas en el sondaje GA-13 varían entre $1{,}6x10^{-8}$ y $2{,}1x10^{-8}$ m/s, con un valor promedio de $1{,}8x10^{-8}$ m/s.

Los resultados de los análisis de las pruebas de bombeo a caudal constante realizadas en los pozos de monitoreo VCA-06 y VCA-07 muestran valores de transmisividad variando entre $1{,}4x10^{-3}$ y $1{,}6x10^{-3}$ m/s para el pozo VCA-06, y entre $8{,}6x10^{-4}$ y $1.4x10^{-3}$ m/s para el pozo VCA-07. Los valores obtenidos son consistentes entre ellos y dan valores del conductividad hidráulica del orden de 10^{-5} a 10^{-4} m/s. Estos valores son representativos de la unidad de relleno sedimentario considerando el diseño de los pozos VCA-06 y VCA-07. Cabe mencionar que no se registró cambio de niveles de agua significativo en los pozos de monitoreo más cercanos (VCA-08 y VCA-10) durante el bombeo de los pozos.

En el EIA de KINROSS, se presentó una prueba de bombeo practicada en el pozo RPG-21, ubicado en la pampa Pantanillo, la que consistió en un ensayo de gasto variable donde se probaron caudales de 20, 40, 60 y 73 l/s y un ensayo de gasto constante por 4 días, con un caudal de 50 l/s. En esta prueba el nivel estático se encontraba a los 23,8 m b.n.t. y el máximo descenso provocado por el bombeo fue de 5,7 metros. Se utilizaron 5 pozos de observación ubicados a una distancia entre 20 a 5.010 metros, obteniendo una respuesta en los 3 primeros pozos ubicados hasta una distancia de 601 m.

Los resultados del análisis de los datos de descenso del pozo de bombeo y de los 3 pozos de observación indican que la transmisividad del acuífero no consolidad es de alrededor de 4.000 m^2/d y el almacenamiento está en el rango de $1x10^{-3}$.

Los valores obtenidos en la recuperación del pozo más cercano indican una transmisividad de 5.270 m^2/d y se obtuvo un almacenamiento de $8x10^{-8}$ lo que no representa un acuífero libre en depósitos no consolidados por lo que se infiere perdidas de carga o influencia por los sondajes de producción aledaños a este pozo.

e) Volúmenes Embalsados

Los depósitos aluviales y fluviales que rellenan la depresión sedimentaria de la cuenca, poseen las mejores características hidráulicas, debido a los tipos de sedimentos, la granulometría y a su alta porosidad intergranular, lo que facilita el movimiento del agua.

Según lo antecedentes gravimétricos presentados por Venegas, 1999, se indica que, para la profundidad del basamento, se encontraron valores entre los 400 m y los 800 m, lo que daría un promedio de la profundidad de la cuenca de alrededor de 600 m. Este valor es válido para la zona donde se practicó la gravimetría, pero como existen más quebradas que también albergan el acuífero regional (como la Quebrada

Astaburuaga), es que se utiliza el menor valor obtenido por la gravimetría (400 m de espesor), para utilizar un criterio conservador y no sobreestimar la cantidad de agua embalsada. Además se le resta a ese espesor de sedimentos, el promedio de profundidad del nivel estático registrado en los pozos de 23 m b.n.s. Se obtiene entonces un espesor medio de sedimentos saturados de 377 m.

Además según la geología presentada previamente, se observa que la superficie que abarcan los sedimentos en la cuenca corresponde a 234,2 km^2.

Se utiliza el coeficiente de almacenamiento de $1x10^{-3}$ obtenido en la prueba de bombeo de largo aliento (4 días) en el pozo RPG-21, presentado en el EIA de KINROSS, 2011.

Así, las variables empleadas en el cálculo del volumen almacenado se presentan en el Cuadro 10.2-38.

CUADRO 10.2-38
VOLUMEN ALMACENADO EN LA CUENCA LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO

Espesor saturado (m)	Superficie (m^2)	Coeficiente de Almacenamiento	Volumen Almacenado (m^3)
377	234.200.000	0,001	88.293.400

El total del volumen almacenado corresponde a 88,29 Mm^3, siendo este valor calculado con una aproximación bastante gruesa del espesor de los sedimentos saturados, y sin considerar además el agua que puede estar alojada en rocas fracturadas.

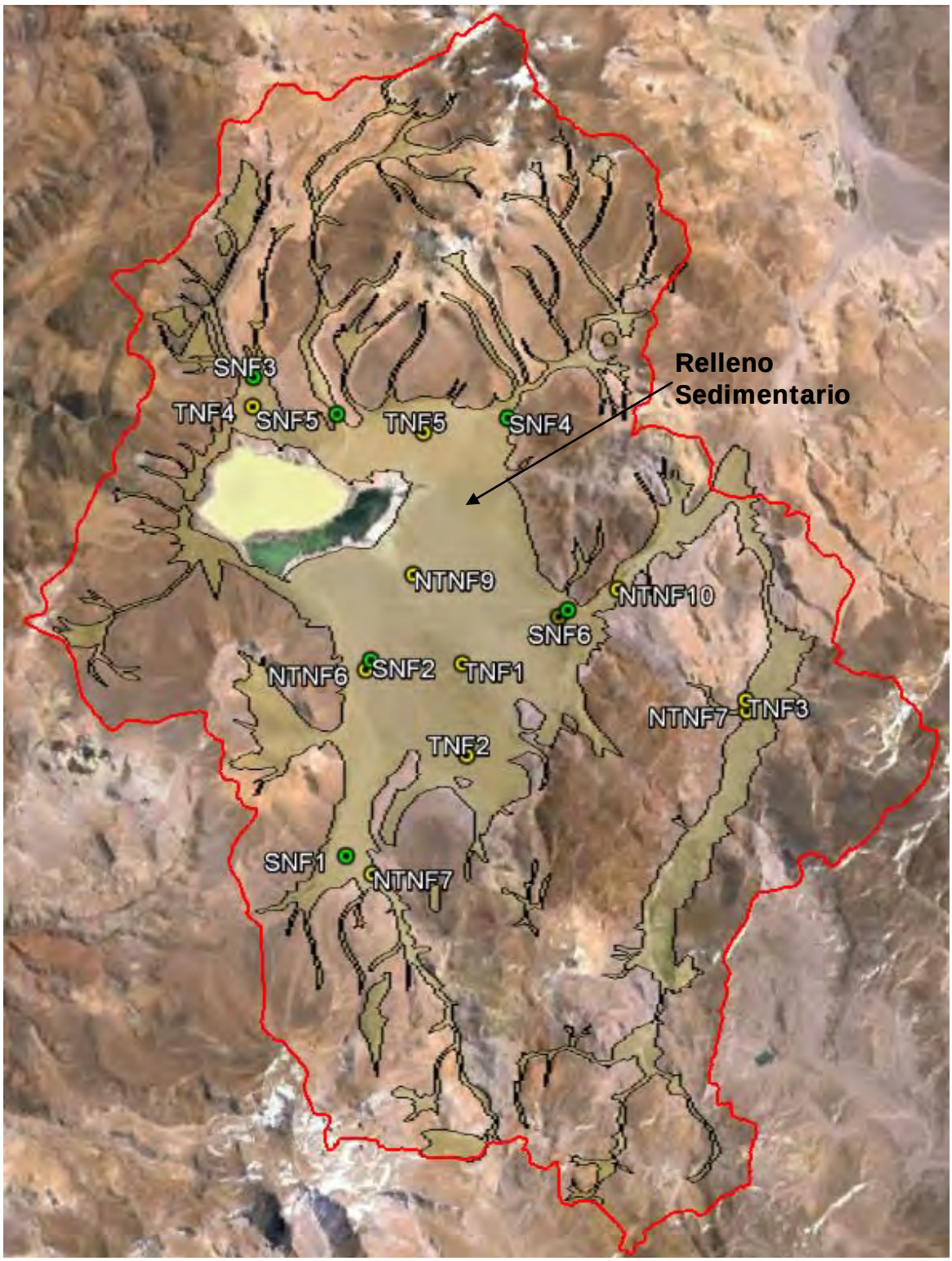
En concordancia con lo expuesto en el cálculo del volumen almacenado, es que se recomienda la medición de geofísica tipo TEM y NanoTEM, además de la perforación de sondajes exploratorios de pequeño diámetro, en las zonas de la cuenca de la Laguna del Negro Francisco que no contengan información, como lo son varías quebradas y algunos llanos. Además de la perforación de sondajes en las desembocaduras de las quebradas y en zonas de mayor expresión superficial de los rellenos alojados en estas quebradas. Se contempla además realizar a lo menos un pozo en conjunto con una estación TEM y otra NanoTEM, en una coordenada coincidente con una estación medida en el estudio gravimétrico realizado por el SERNAGEOMIN, que permitan calibrar las mediciones efectuadas en ambos estudios, para así poder contar con una aproximación más precisa de la profundidad y contorno del basamento hidrogeológico, logrando además integrar la geofísica presentada en este estudio con la realizada en el Documento de Trabajo del SERNAGEOMIN.

Las coordenadas de las nuevas prospecciones se presentan en el Cuadro 10.2-39, mientras que la ubicación de estas, en conjunto al límite/contacto roca/relleno se presentan en la Figura 10.2-56.

CUADRO 10.2-39
PROSPECCIONES PROPUESTAS CUENCA LAGUNA DE NEGRO FRANCISCO

Piezómetros (S) NanoTEM (NT) TEM (T)	Este (m)	Norte (m)	Tipo	Profundidad (m)
TNF1	484.656	6.956.017	TEM	300
TNF2	484.825	6.952.516	TEM	300
TNF3	495.529	6.954.619	TEM	300
TNF4	476.619	6.965.828	TEM	300
TNF5	483.175	6.964.830	TEM	300
NTNF6	480.948	6.955.788	NanoTEM	60
NTNF7	481.189	6.948.002	NanoTEM	60
NTNF7	495.563	6.954.194	NanoTEM	60
NTNF8	488.359	6.957.796	NanoTEM	60
NTNF9	482.781	6.959.410	NanoTEM	60
NTNF10	490.631	6.958.843	NanoTEM	60
SNF1	480.181	6.948.693	Piezómetro	120
SNF2	481.143	6.956.158	Piezómetro	190
SNF3	476.651	6.966.955	Piezómetro	100
SNF4	486.413	6.965.374	Piezómetro	120
SNF5	479.849	6.965.538	Piezómetro	120
SNF6	488.707	6.958.054	Piezómetro	120

FIGURA 10.2-56
PROSPECCIONES PROPUESTAS Y CONTACTO ROCA/RELLENO EN LA CUENCA DE LA LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO



10.2.10. Referencias Bibliográficas Adicionales para Hidrogeología

En el desarrollo del capítulo de la hidrogeología de cada una de las 9 cuencas priorizadas, se usó bibliografía adicional a la analizada en capítulos anteriores, correspondiente a:

- Aguirre, 2003. A hydrogeological, hydrochemical, isotopic and geophysical study on the Salar de Pedernales sub-basin, III Region, Chile. Tésis de Máster. Universidad de Tübingen, Alemania.
- Aguirre, I. y Venegas, M., 2005. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Hidrogeología de la Cuenca del Salar de Pedernales, Región de Atacama. Escala 1:100.000, Nº Mapa: M67.
- EDRA, 1999a. Hidrogeología Sector Cerro Pampa.
- Struckmeier, W. F., Margat, J., 1995. Hidrogeological Maps. A guide and standard legend. International Association of Hydrogeologists (IAH). International Contributions to Hydrogeology, vol. 17, 177 p. Hannover, Alemania.
- Suazo, H., 2000. Modelación hidrogeológica preliminar del área de Pampa Pantanillo, Altiplano, III Región. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Venegas, M., 1999. Análisis hidrogeoquímico y consideraciones acerca de la evolución de la laguna del Negro Francisco. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile, Santiago.

11. HIDROGEOQUÍMICA. INTERCONEXIÓN ENTRE CUENCAS PRIORIZADAS

11.1. Introducción

El objetivo del presente capítulo es analizar si es que hay o no conexiones de aguas entre pares de cuencas priorizadas, usando para ello la información físico química recopilada de aguas subterráneas y de aguas superficiales. Para ello, se utilizará el denominado "Diagrama de Piper".

11.2. Diagrama de Piper. Generalidades

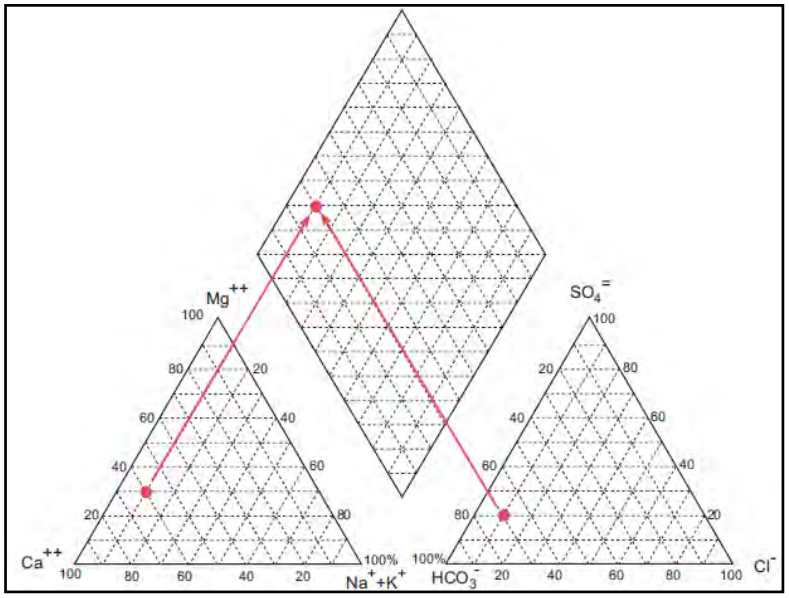
Los diagramas triangulares se utilizan para representar la proporción de tres componentes en la composición de un conjunto o de una sustancia.

La suma de los tres componentes debe representar el 100% de la composición de lo que se considera esa sustancia.

En Hidroquímica se utiliza un triángulo para los cationes principales (Ca^{++}, Mg^{++} y (Na^{+}+K^{+}) y otro para los aniones (Cl^{-}, $SO_4^{=}$ y HCO_3^{-}).

El **diagrama de Piper** está formado por dos triángulos con un rombo que recoge la información de ambos triángulos (Figura 11.2-1):

FIGURA 11.2-1
REPRESENTACIÓN DIAGRAMA DE PIPER



En uno de los triángulos se representan los cationes y en el otro los aniones principales. El paso desde ambos triángulos hasta el rombo es inmediato y muy simple, como se indica en la Figura 11-1. Por lo tanto, cada análisis queda representado por tres puntos.

En la Figura 11-1 está representado el análisis de un agua con la siguiente composición:

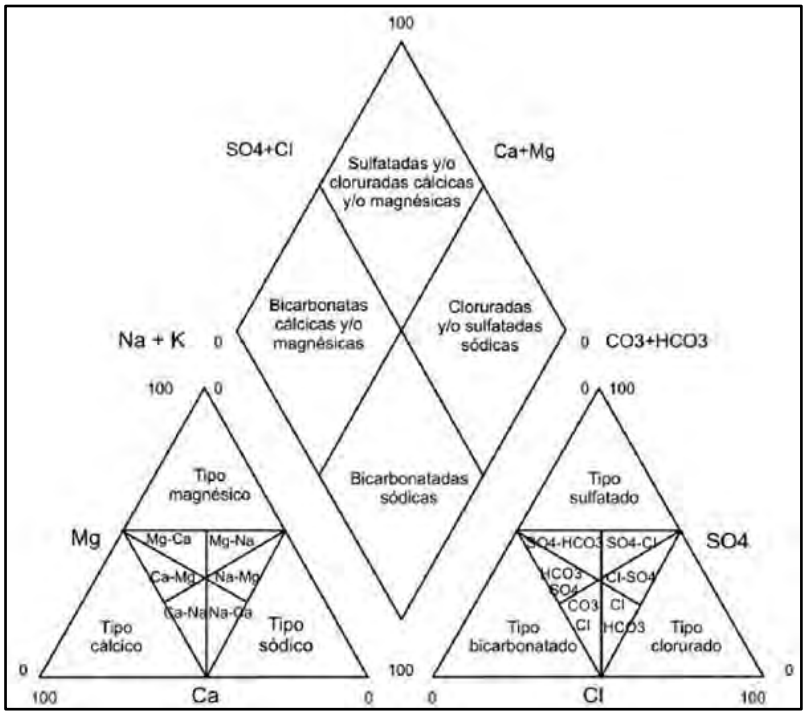
Ca^{++} = 60% ; Mg^{++} = 30% ; $Na^{+} + K^{+}$ = 10%
HCO_3^{-} = 70% ; $SO_4^{=}$ = 20% ; Cl^{-} = 10%

Los datos de partida deben estar en meq/L de cada ión y es preciso calcular los porcentajes de cada uno, separándolos separadamente:

Suma cationes = 100 (para el triángulo izquierdo)
Suma aniones = 100 (para el triángulo derecho).

Esta representación entrega una caracterización del agua analizada. La Figura 11.2-2 presenta los posibles tipos de aguas que están representados en cada triángulo y rombo del diagrama de Piper.

FIGURA 11.2-2
TIPOS O CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS EN EL DIAGRAMA DE PIPER



11.3. Conexión entre Cuencas Priorizadas

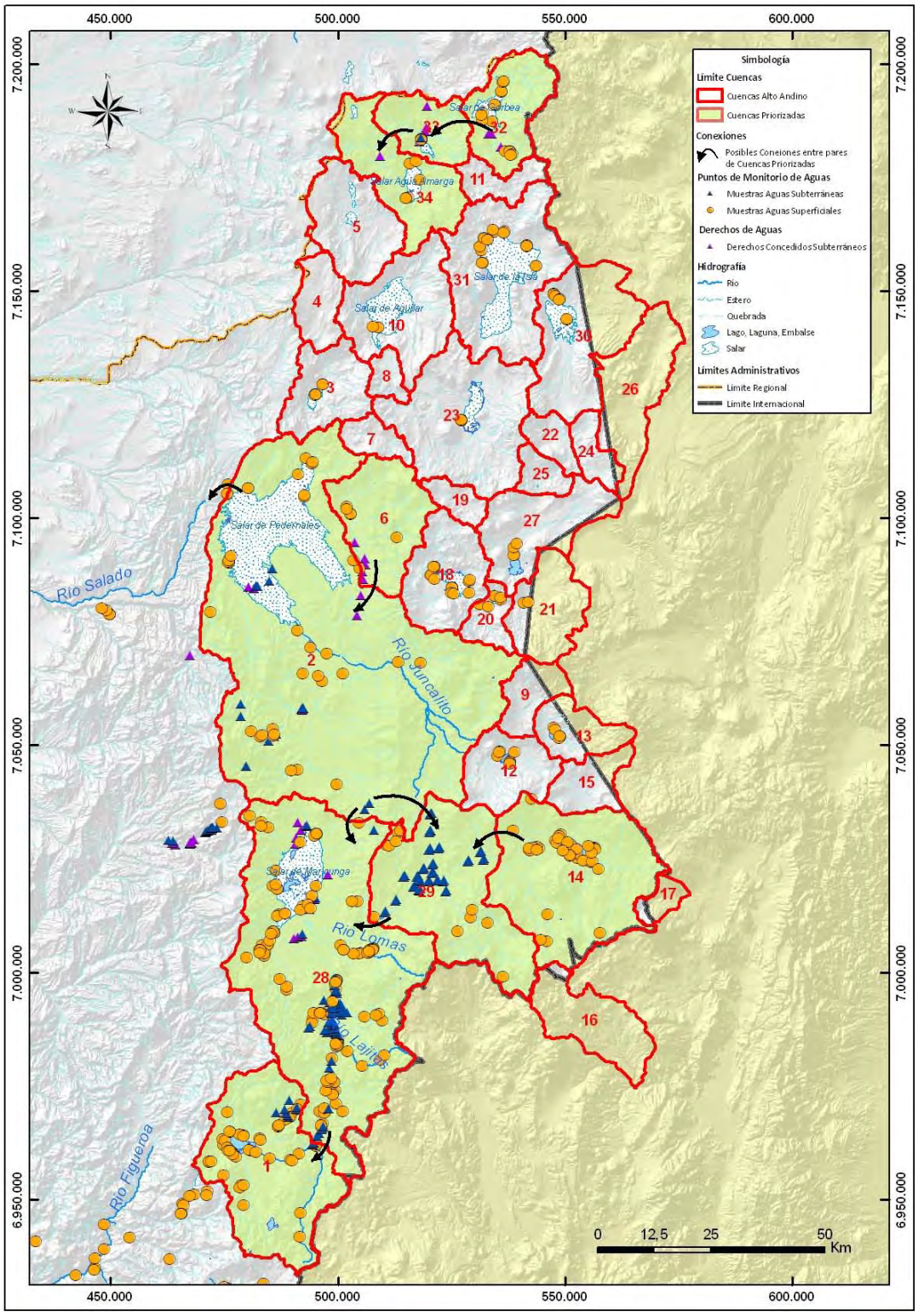
De acuerdo con las 9 cuencas priorizadas antes definidas, las posibles conexiones entre cuencas que se podrían producir son las siguientes:

a) Salar de Pedernales con Río Salado (cuenca 2 con Río Salado) *
b) La Laguna con Salar de Pedernales (cuencas 6 y 2) *
c) Piedra Pómez con Salar de Maricunga (cuencas 29 y 28) *
d) Laguna del Negro Francisco con Salar de Maricunga (cuencas 1 y 28) *
e) Salar de Pedernales con Salar de Maricunga (cuencas 2 y 28)
f) Salar de Pedernales con Piedra Pómez (cuencas 2 y 29)
g) Salar de Laguna Verde con Piedra Pómez (cuenca 14 y 29)
h) Salar de Gorbea con Salar de La Azufrera (cuencas 32 y 33)
i) Salar de la Azufrera con Salar de Agua Amarga (cuencas 33 y 34)

* Posible conexión según estudio Ref. 2, Dictuc 2009.

La Figura 11.3-1 muestra las posibles conexiones entre pares de cuencas (cuencas priorizadas).

FIGURA 11.3-1
CUENCAS PRIORIZADAS Y POSIBLES CONEXIONES ENTRE PARES DE CUENCAS



11.4. Metodología para la Verificación Conexiones entre Cuencas Priorizadas

Para verificar si, teóricamente, podría existir conexión entre pares de cuencas, se ha utilizado el Diagrama de Piper, el cual permite identificar y visualizar componentes específicos de las aguas (cationes y aniones), tal como se ha descrito anteriormente.

En primera instancia se trabajó con información físico química de aguas subterráneas disponible por cuenca, y, en caso de que no se disponía de antecedentes de calidad de aguas subterráneas, se usó información de aguas superficiales.

Los pasos seguidos fueron los siguientes:

- **Paso 1:** Identificación del par de cuencas donde se podrían establecer una posible conexión.

- **Paso 2:** en cada una de las pares de cuencas, analizar la información físico química de aguas existente (preferentemente agua subterránea).

  La elección de los puntos de muestro será según el tipo de información química de las aguas que se disponga. En efecto, la prioridad serán muestras de agua subterránea, combinación entre aguas subterráneas y superficiales y en su defecto, sólo muestras de aguas superficiales

- **Paso 3:** seleccionar aquellos puntos de muestreo (en cada una de las cuencas) que contengan la información química necesaria para ser representada en el Diagrama de Piper, permitiendo realizar la comparación correspondiente.

- **Paso 4:** Verificar si los puntos del par de cuencas estudiadas presentan las mismas características, con relación al tipo de agua, y así poder establecer si existe o no conexión entre las cuencas.

- **Paso 5:** en caso de no contar con información suficiente de aguas subterráneas, se aplican los pasos anteriores con información de agua superficiales, o combinación de antecedentes de aguas subterráneas y aguas superficiales, para poder establecer si pudiese haber conexión entre pares de cuencas.

La elección de los puntos de muestro será según el tipo de información química de las aguas que se disponga: Subterránea – subterránea; subterránea – superficial o superficial - superficial

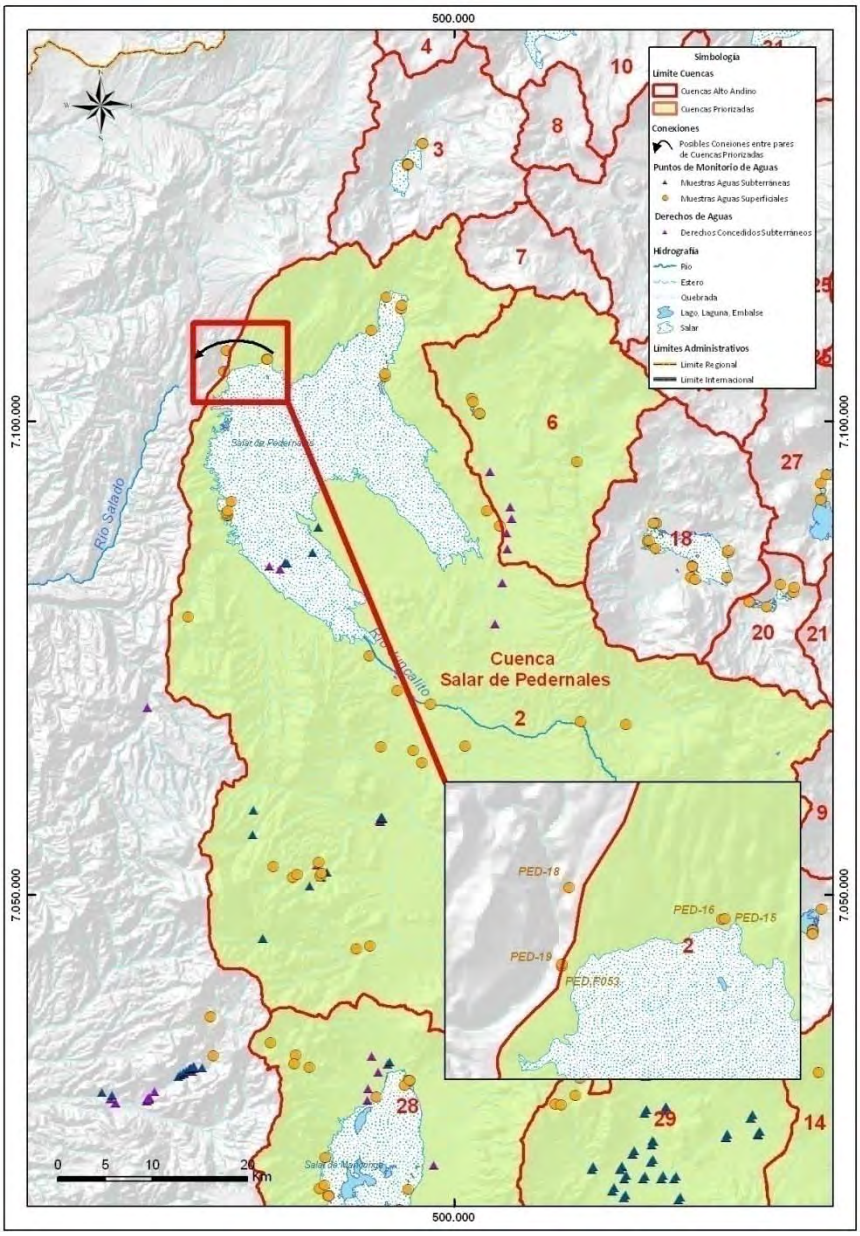
11.5. Aplicación

11.5.1. Salar de Pedernales con Río Salado (cuenca 2 con Río Salado)

Esta conexión se analizó debido a que en el estudio del Dictuc 2005 (Ref. 2) se planteó que había una conexión entre el Salar de Pedernales con la cuenca del río Salado.

Ambas cuencas cuentan con información físico-química para aguas superficiales (ver Figura 11.5-1).

FIGURA 11.5-1
PUNTOS DE MUESTREO CONSIDERADOS PARA VERIFICAR LA POSIBLE CONEXIÓN ENTRE LA CUENCA DE SALAR PEDERNALES Y LA CUENCA DEL RÍO SALADO



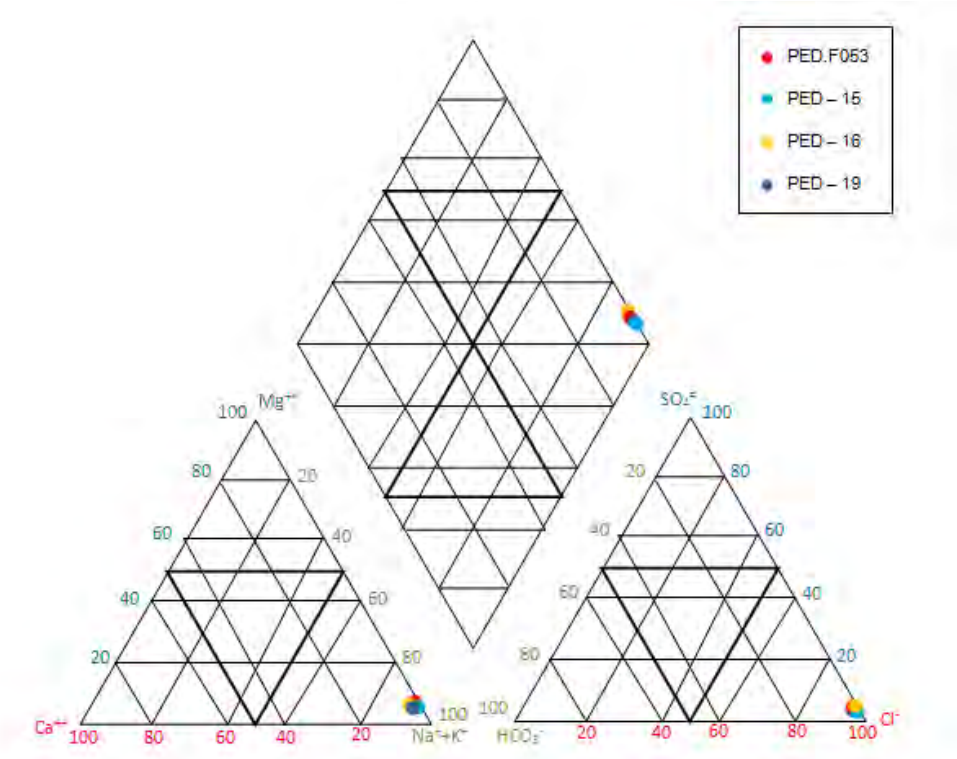
Los puntos de muestreo corresponden a 2 referencias:

CUADRO 11.5-1
PUNTOS DE MUESTREO CON INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS SUPERFICIALES, CUENCA SALAR DE PEDERNALES Y RÍO SALADO

Referencia	Punto de Muestreo	Cuenca a la que pertenece
Ref. 2	PED.F053	Cuenca Salar de Pedernales
Ref. 7	PED – 15 PED – 16	
Ref. 7	PED – 18 PED – 19	Sector Río Salado

Con la información química disponible se generó un diagrama de Piper para los 5 puntos de muestreo considerados. En la Figura 11.5-2 se presenta el diagrama de Piper.

FIGURA 11.5-5
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADO DE LA REFERENCIAS 2 Y 7



Fuente: Elaboración Propia con información química de la Ref. 2 y Ref. 7.

Para obtener el diagrama de Piper para los puntos seleccionados de la Ref.2 y Ref. 7, se realizaron los siguientes cálculos:

CUADRO 11.5-2
CÁLCULO DE CATIONES Y ANIONES PARA CUENCA SALAR DE PEDERNALES Y RÍO SALADO

		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.2 PED.F053	(mg/l)	1.494,0	3.664,0	100.980,0	6.230,0		5.033,0	155.726,0	479,2
	(meq/l)	74,6	301,5	4.392,3	159,3	4.551,7	104,2	4.392,5	7,9
	%	1,5	6,1			92,4	2,3	97,5	0,2

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 PED - 15	(mg/l)	1.470,0	3.300,0	117.000,0	5.200,0		5.500,0	193.000,0	894,4
	(meq/l)	73,4	271,6	5.089,2	133,0	5.222,2	113,9	5.443,8	14,3
	%	1,3	4,9			93,8	2,0	97,7	0,3

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 PED - 16	(mg/l)	119,0	182,0	5.130,0	426,0		430,0	8.700,0	13,9
	(meq/l)	5,9	15,0	223,1	10,9	234,0	8,9	245,4	0,2
	%	2,3	5,9			91,8	3,5	96,4	0,1

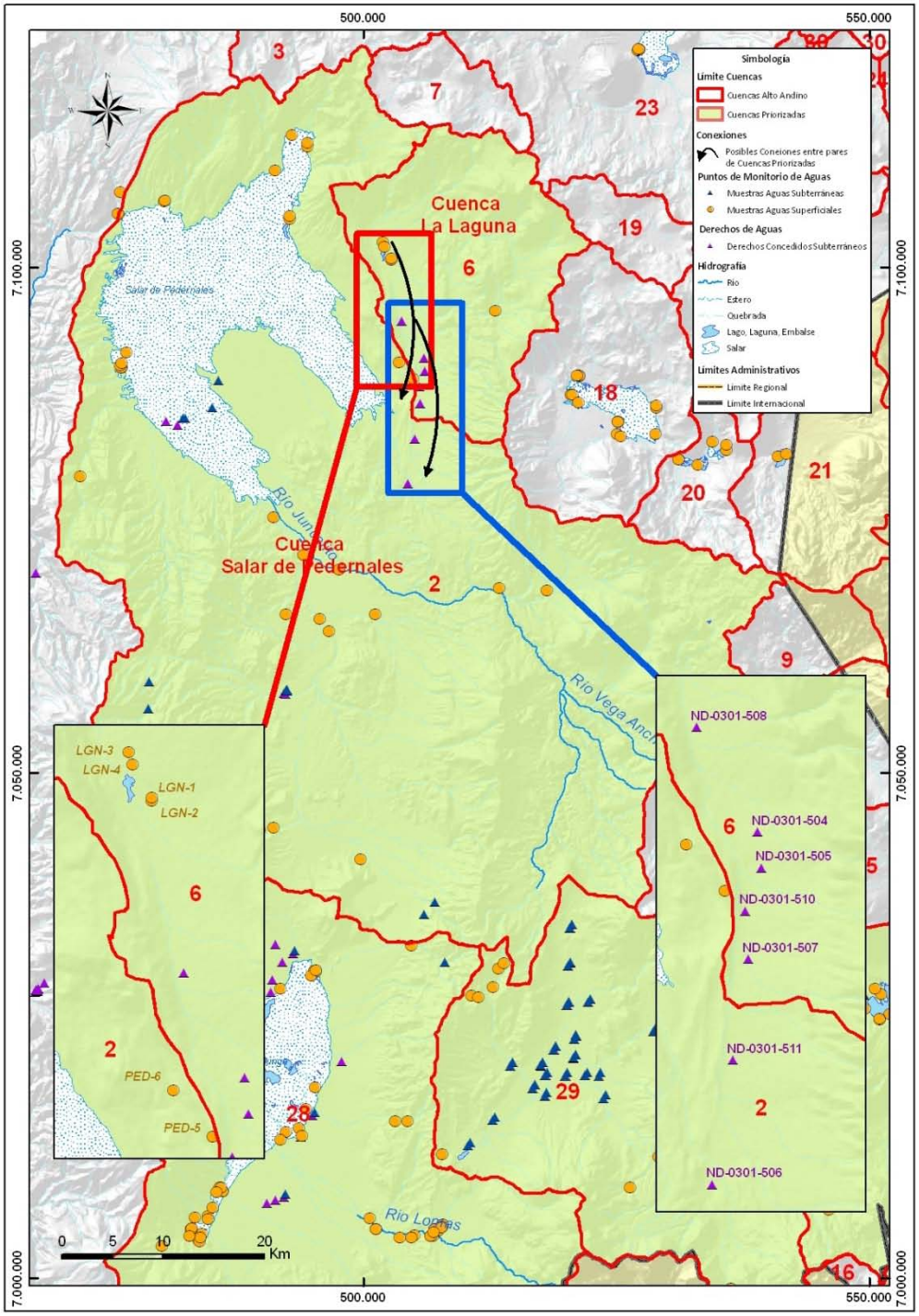
		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 PED - 19	(mg/l)	1.200,0	2.840,0	115.000,0	4.180,0		4.760,0	192.000,0	115,0
	(meq/l)	59,9	233,7	5.002,2	106,9	5.109,1	98,5	5.415,6	1,8
	%	1,1	4,3			94,6	1,8	98,2	0,0

Del diagrama de Piper (Figura 11-5), es posible establecer que todas las muestras (a excepción del punto PED – 18, de la referencia 7) están en el cuadrante de Aguas **Cloruradas y/o Sódicas,** por lo tanto se puede inferir que existe una conexión de aguas superficiales entre las cuencas.

11.5.2. La Laguna con Salar de Pedernales (cuencas 6 y 2)

Se verificó si los derechos de aguas subterráneas que existen entre ambas cuencas contaban con información físico química; sin embargo los expedientes de esos derechos no cuentan con dicha información. Por este motivo se recurrió a la información de muestras de aguas superficiales que están presentes en ambas cuencas.

FIGURA 11.5-6
PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES CONSIDERADOS PARA VERIFICAR LA CONEXIÓN ENTRE LAS CUENCAS DE LA LAGUNA Y SALAR PEDERNALES



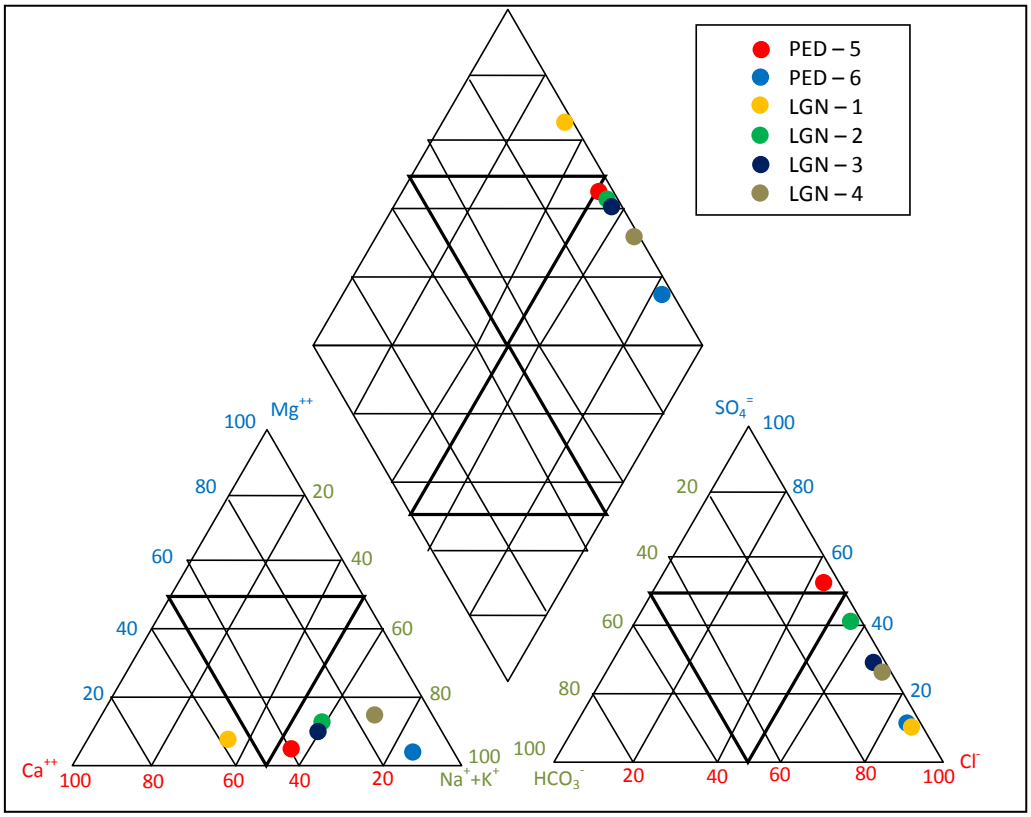
Los puntos de muestreo se incluyen en el Cuadro 11.5-3:

CUADRO 11.5-3
PUNTOS DE MUESTREO CON INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS SUPERFICIALES, CUENCA SALAR DE PEDERNALES Y CUENCA LA LAGUNA

Referencia	Punto de Muestreo	Cuenca a la que pertenece
Ref. 7	PED – 5 PED – 6	Salar de Pedernales
Ref. 7	LGN – 1 LGN – 2 LGN – 3 LGN – 4	La Laguna

Con la información química disponible se generó un diagrama de Piper para los 6 puntos de muestreo considerados (ver Figura 11.5-7).

FIGURA 11.5-7
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADOS



Fuente: Elaboración Propia con información química de la Ref. 7.

En el Cuadro 11.5-4 se incluyen los cálculos efectuados.

CUADRO 11.5-4
CÁLCULO DE CATIONES Y ANIONES PARA LA CUENCA LA LAGUNA Y CUENCA SALAR DE PEDERNALES

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 PED - 5	(mg/l)	125,0	9,8	183,0	13,1		381,0	228,0	43,1
	(meq/l)	6,2	0,8	8,0	0,3	8,3	7,9	6,4	0,7
	%	40,7	5,3			54,1	52,5	42,8	4,7

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 PED - 6	(mg/l)	172,0	38,4	1.330,0	59,4		455,0	2.170,0	76,3
	(meq/l)	8,6	3,2	57,9	1,5	59,4	9,4	61,2	1,3
	%	12,1	4,4			83,5	13,1	85,2	1,7

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 LGN - 1	(mg/l)	678,0	43,5	451,0	59,4		145,0	792,0	13,9
	(meq/l)	33,8	3,6	19,6	1,5	21,1	3,0	22,3	0,2
	%	57,8	6,1			36,1	11,7	87,4	0,9

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 LGN - 2	(mg/l)	730,0	196,0	1.620,0	138,0		2.480,0	2.620,0	124,0
	(meq/l)	36,4	16,1	70,5	3,5	74,0	51,3	73,9	2,0
	%	28,8	12,7			58,5	40,3	58,1	1,6

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 LGN - 3	(mg/l)	926,0	234,0	1.770,0	130,0		2.160,0	3.550,0	114,0
	(meq/l)	46,2	19,3	77,0	3,3	80,3	44,7	100,1	1,9
	%	31,7	13,2			55,1	30,5	68,2	1,3

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 LGN - 4	(mg/l)	974,0	535,0	5.080,0	497,0		4.460,0	8.240,0	152,0
	(meq/l)	48,6	44,0	221,0	12,7	233,7	92,3	232,4	2,5
	%	14,9	13,5			71,6	28,2	71,0	0,8

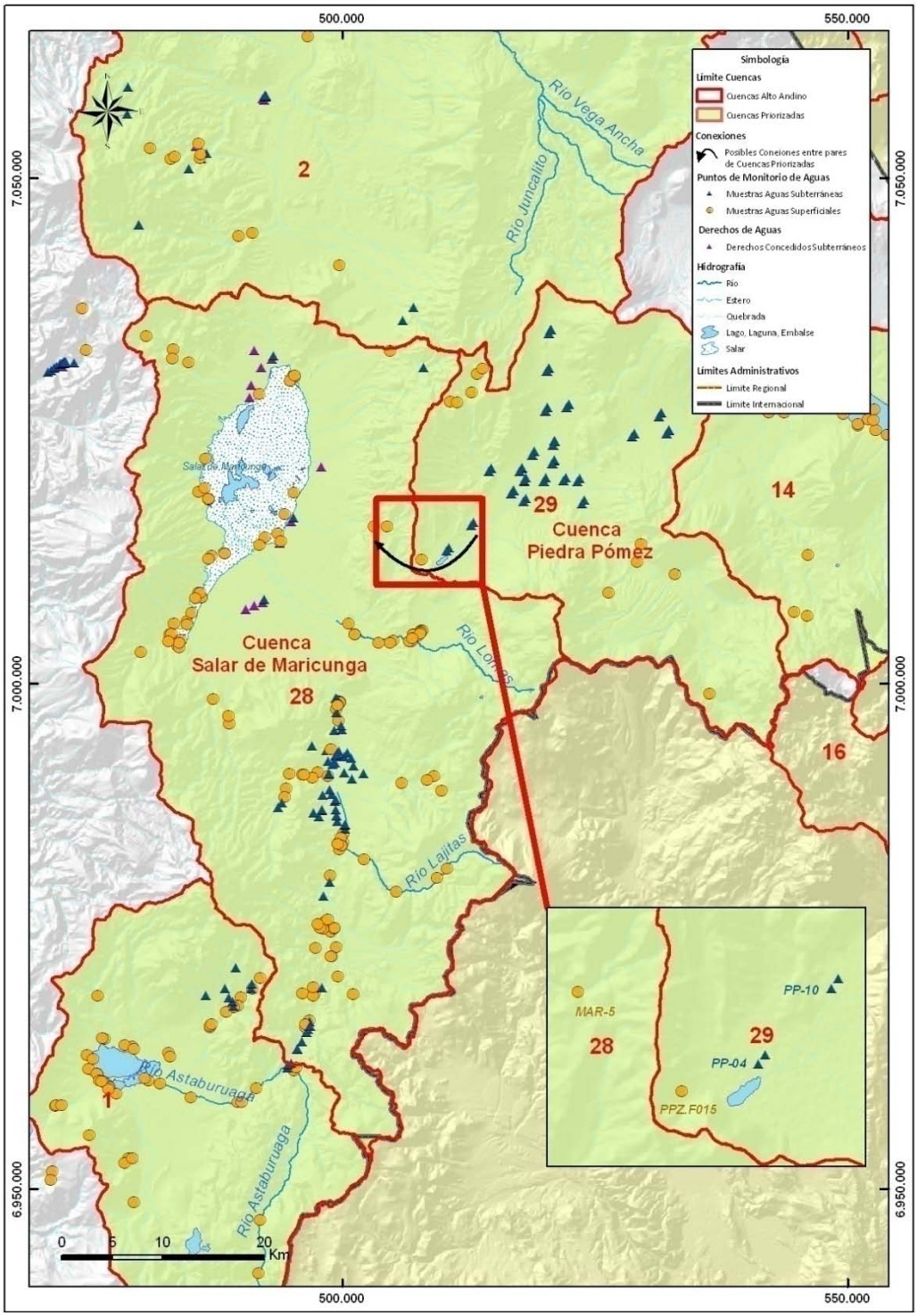
Del diagrama de Piper construido es posible establecer que todas las muestras presentan características mayoritariamente sódicas (cationes) y cloruradas (aniones). Al representar cationes y aniones juntos, el punto de muestreo LGN – 1 es el único que se tiende a escapar un poco de la tendencia, presentando características más **cálcicas** que el resto de los puntos que presentan características **Cloruradas y/o Sódicas.**

De lo expuesto se puede establecer que ambas cuencas presentan algún tipo de conexión. Como sólo se pudo contar con información de calidad físico química de aguas superficiales, es posible pensar que esa conexión se debe a que la recarga pluvial y/o nival de cada cuenca tiene una fuente común.

11.5.3. Piedra Pómez con Salar de Maricunga (cuencas 29 y 28)

En este caso se cuenta con puntos de muestreo de aguas subterráneas y superficiales. En la Figura 11.5-8 se muestra la distribución de estos puntos.

FIGURA 11.5-8
PUNTOS DE MUESTREO CONSIDERADOS PARA VERIFICAR LA CONEXIÓN ENTRE LAS CUENCAS DE PIEDRA PÓMEZ Y SALAR MARICUNGA



La información de calidad físico química se obtuvo de la referencia 32, con puntos de muestreo de aguas subterráneas y Referencias 2 y 7, para los puntos de muestreo de aguas superficiales.

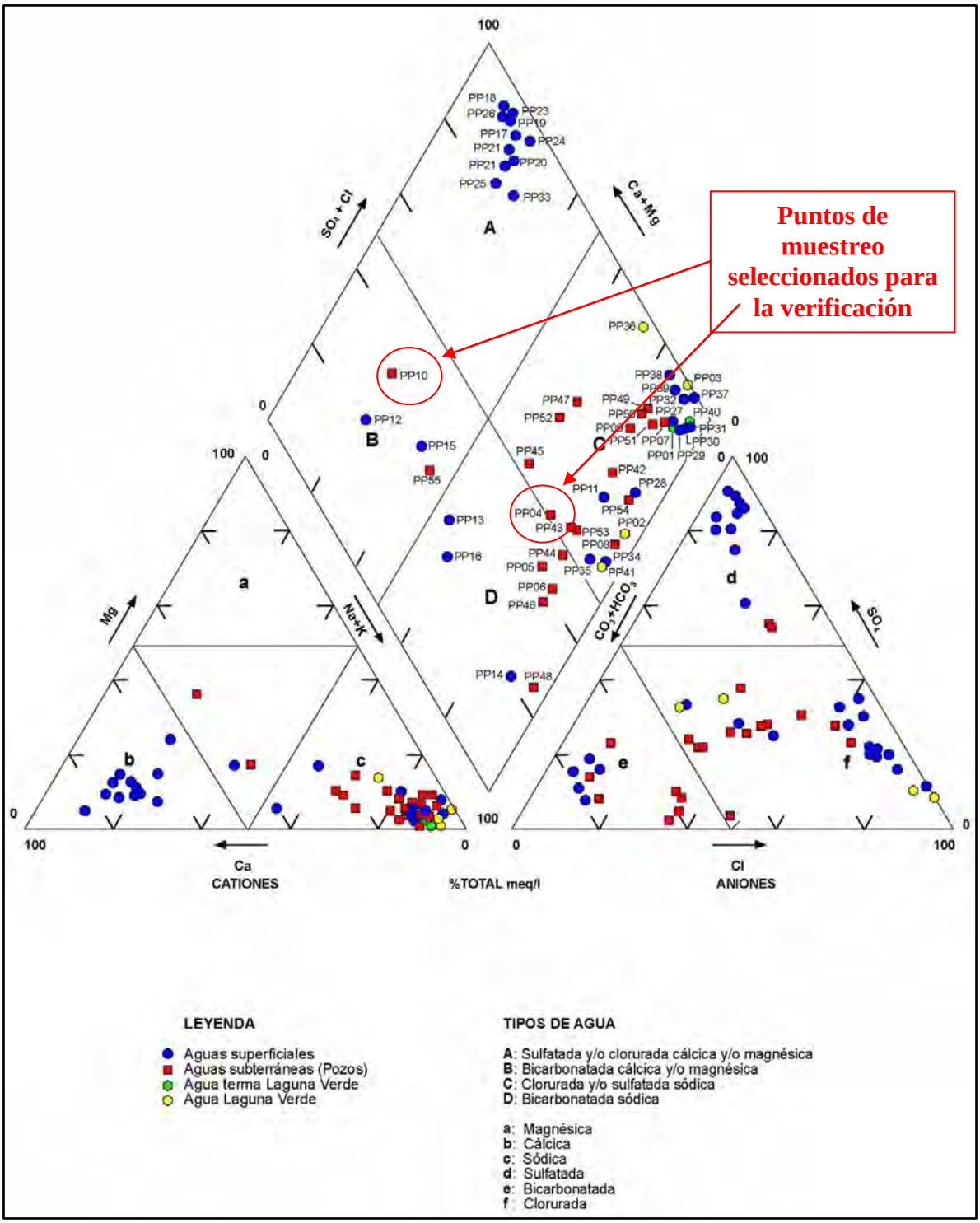
CUADRO 11.5-5
PUNTOS DE MUESTREO CON INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, CUENCAS PIEDRA PÓMEZ Y SALAR DE MARICUNGA

Referencia	Punto de Muestreo	Cuenca a la que pertenece
Ref. 32	PP – 04 PP – 10	Piedra Pómez

CUADRO 11.5-6
PUNTOS DE MUESTREO CON INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS SUPERFICILAES, CUENCAS PIEDRA PÓMEZ Y SALAR DE MARICUNGA.

Referencia	Punto de Muestreo	Cuenca a la que pertenece
Ref. 2	PPZ.F015	Piedra Pómez
Ref. 7	MAR – 5	Salar de Maricunga

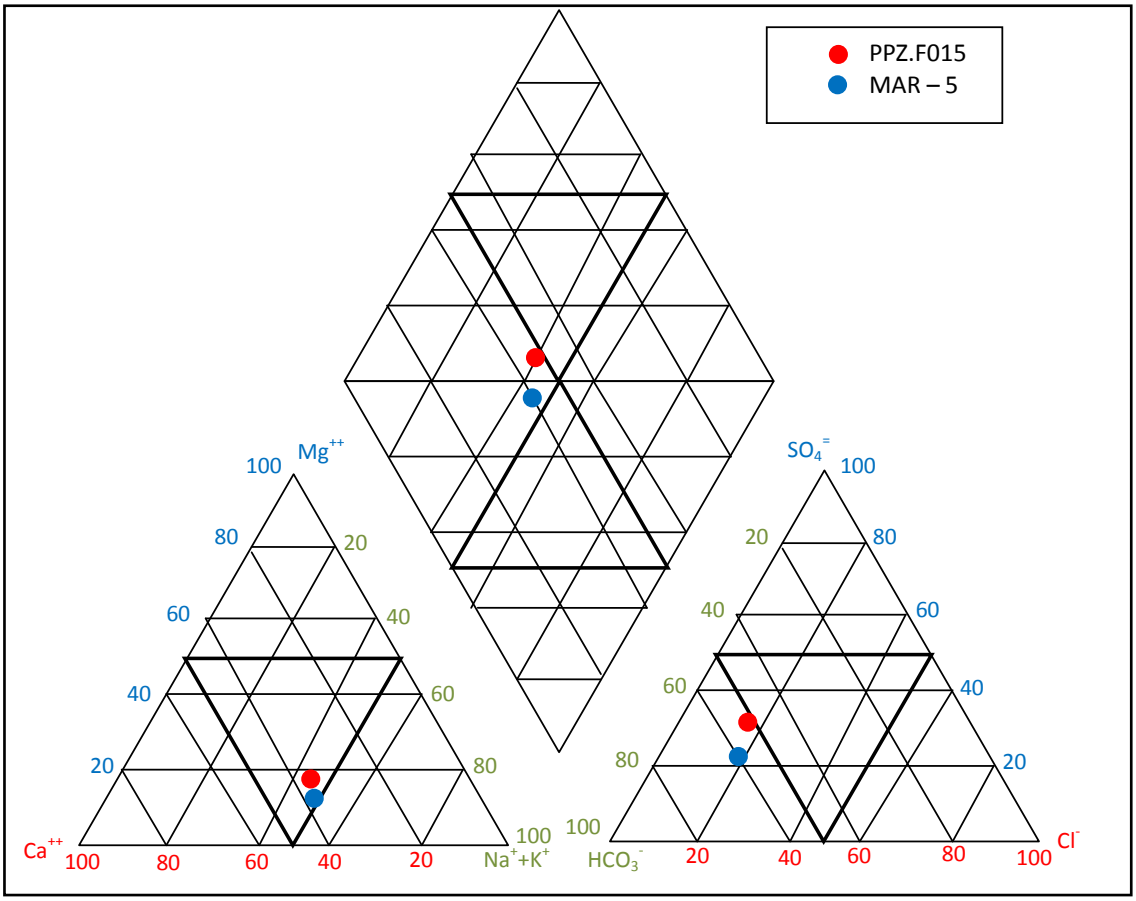
FIGURA 11.5-9
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADO DE LA REFERENCIA 32



Fuente: Ref. 32. Carta hidrogeología de la cuenca Campo de Piedra Pómez – Laguna Verde, región de Atacama.

En el caso de las Ref. 2 y Ref. 7, se generó un diagrama de Piper para los puntos PPZ.F015 y MAR – 6, respectivamente, considerando la información química de estos punto de muestreo. La Figura 11.5-10 presenta el diagrama de Piper.

FIGURA 11.5-10
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREOS DE AGUA SUPERFICAL SELECCIONADO DE LAS REFERENCIAS 2 Y 7



Fuente: Elaboración Propia con información química de las Ref. 2 y Ref. 7.

En el Cuadro 11.5-7 se incluyen los cálculos efectuados.

CUADRO 11.5-7
CÁLCULO DE CATIONES Y ANIONES PARA LA CUENCA LA LAGUNA Y CUENCA SALAR DE PEDERNALES

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.2 PPZ.F015	(mg/l)	44,4	14,0	57,9	4,0		110,1	49,9	162,2
	(meq/l)	2,2	1,2	2,5	0,1	2,6	2,3	1,4	2,7
	%	37,0	19,2			43,8	35,9	22,2	41,9

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 MAR - 5	(mg/l)	47,3	10,1	66,5	3,5		58,6	35,5	225,0
	(meq/l)	2,4	0,8	2,9	0,1	3,0	1,2	1,0	3,7
	%	38,2	13,5			48,3	20,6	17,0	62,5

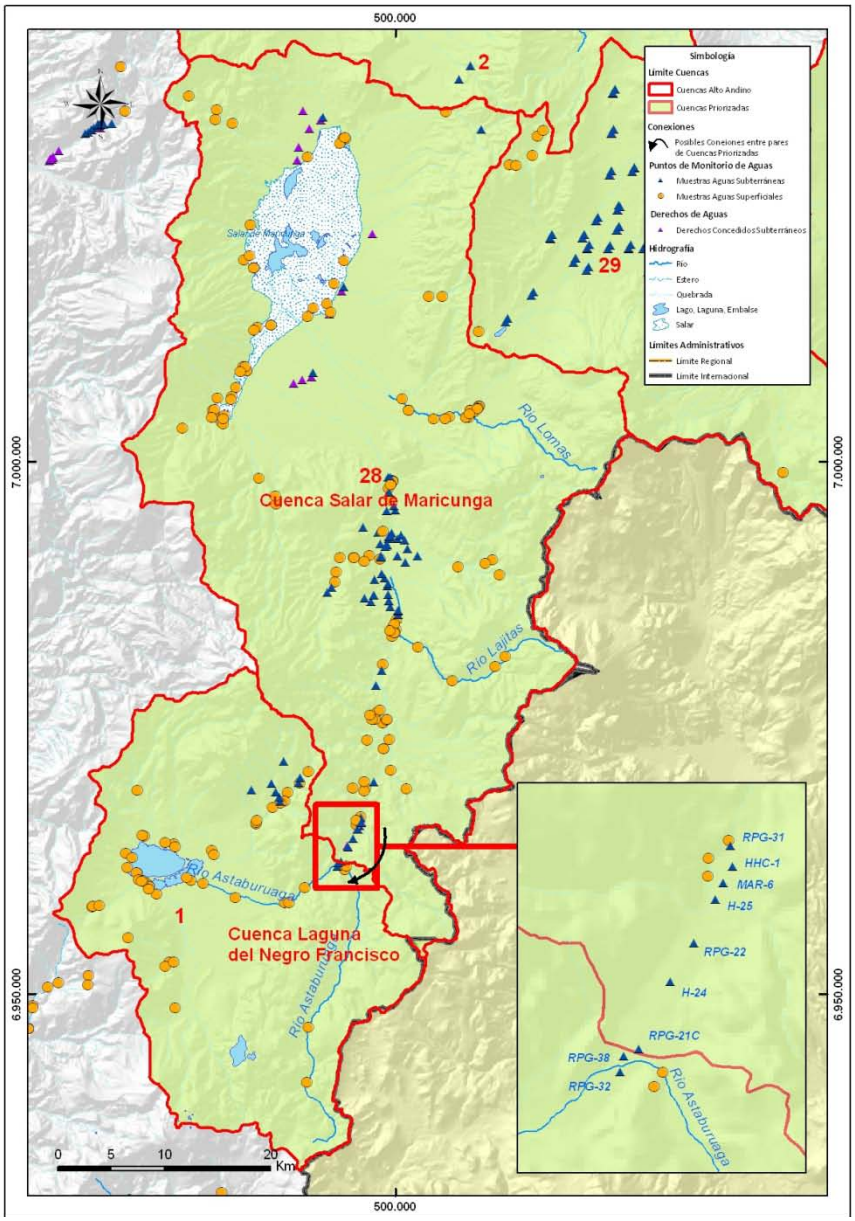
De los diagramas de Piper antes, es posible establecer que 3 de las muestras presentan características **Bicarbonatas cálcicas** (PP-10 muestra de agua subterránea y PPZ.F015 y MAR – muestras de aguas superficiales). La muestra PP-4 de aguas subterráneas presenta características **Cloruradas y/o Sulfatadas sódicas**.

De lo expuesto se puede establecer que habría algún tipo de conexión entre ambas cuencas.

11.5.4. Laguna del Negro Francisco con Salar de Maricunga (cuencas 1 y 28)

En la Figura 11.5-11 se muestra la información de calidad físico química de aguas existentes.

FIGURA 11.5-11
PUNTOS DE MUESTREO CONSIDERADOS PARA VERIFICAR LA POSIBLE CONEXIÓN ENTRE LAS CUENCAS DE SALAR MARICUNGA Y LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO



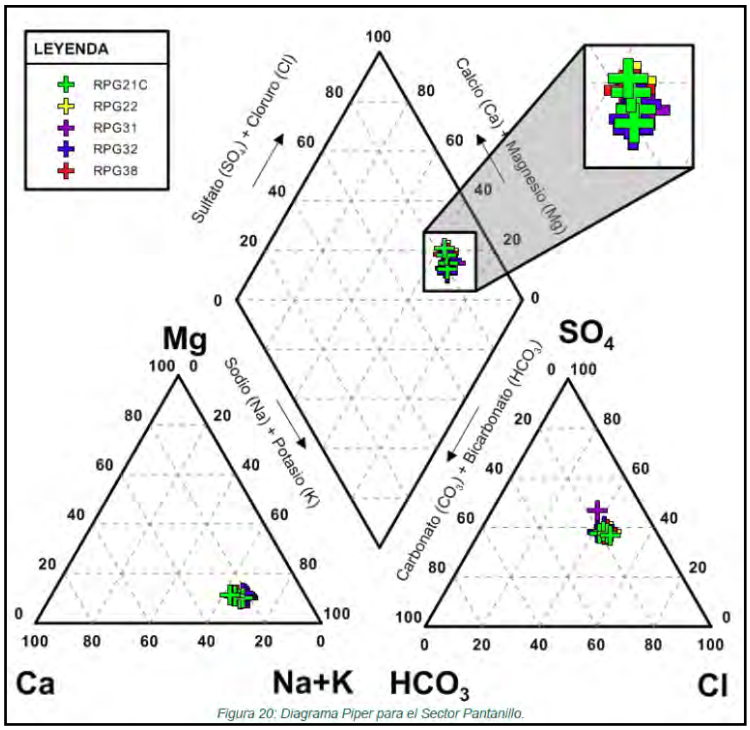
La información usada se incluye 3 referencias, considerando los siguientes puntos de muestreo (Cuadro 11-8):

CUADRO 11.5-8
PUNTOS DE MUESTREO CON INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, CUENCAS SALAR DE MARICUNGA Y LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO

Referencia	Punto de Muestreo	Cuenca a la que pertenece
Ref. 7	MAR – 6	Cuenca Salar de Maricunga
Ref. 18	RPG – 21 C RPG – 22 RPG – 31	
Ref. 31	HHC – 1 H – 24 H – 25	
Ref. 18	RPG – 32 RPG – 38	Cuenca Laguna del Negro Francisco

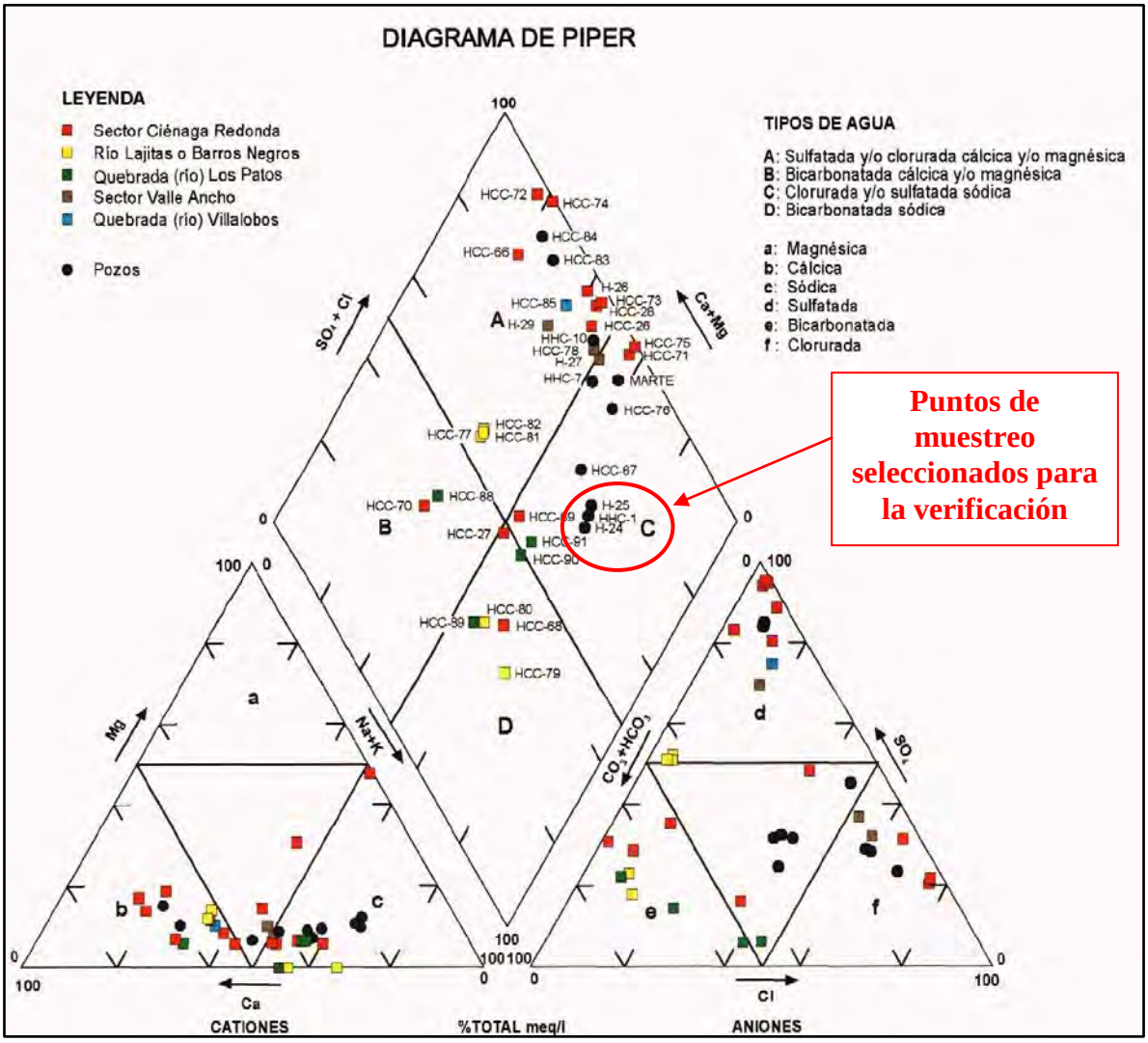
En los casos de las referencias 18 y 31, ambos cuentan con Diagramas de Piper en sus respectivos informes, (Figura 11.5-12 y 11.5-13)

FIGURA 11.5-12
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADOS DE LA REFERENCIA 11-18



Fuente: Ref.18. Línea de base ambiental hidrogeológica e hidrológica Lobo Marte y modelos hidrogeológicos Ciénaga Redonda, Anexo E, Diagramas de Piper para sectores de aguas subterráneas, figura 20.

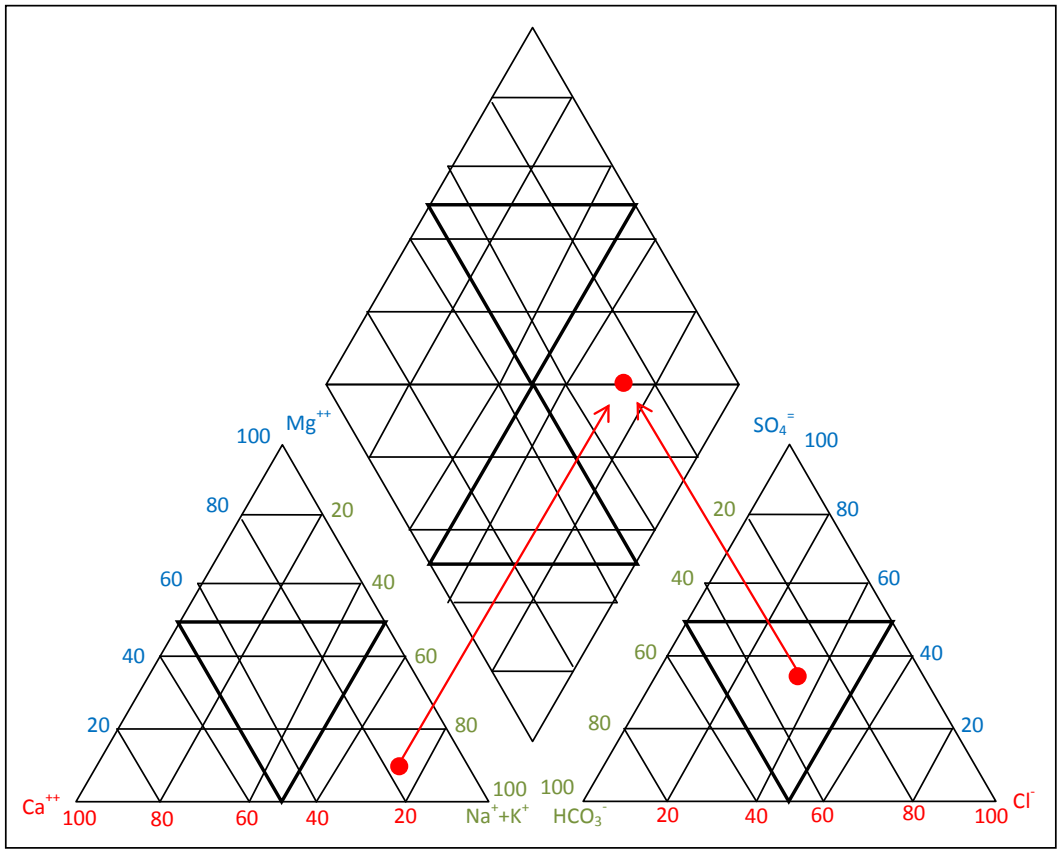
FIGURA 11.5-13
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADOS DE LA REFERENCIA 31



Fuente: Ref. 31. Mapa hidrogeológico de la cuenca Salar de Maricunga, sector Ciénaga Redonda, región de Atacama.

En el caso de la Ref.7, se generó un diagrama de Piper para el punto MAR-6, considerando la información química de ese punto de muestreo (Figura 11.5-14).

FIGURA 11.5-14
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTO DE MUESTREO SELECCIONADO DE LA (Ref. 7)



Fuente: Elaboración Propia con información química de la Ref. 7.

Para obtener el diagrama de Piper para el punto seleccionado de la Ref.7, se realizaron los siguientes cálculos

En el Cuadro 11.5-9 se incluyen los cálculos efectuados.

CUADRO 11.5-9
CÁLCULO DE CATIONES Y ANIONES PARA CUENCAS SALAR DE MARICUNGA Y LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO

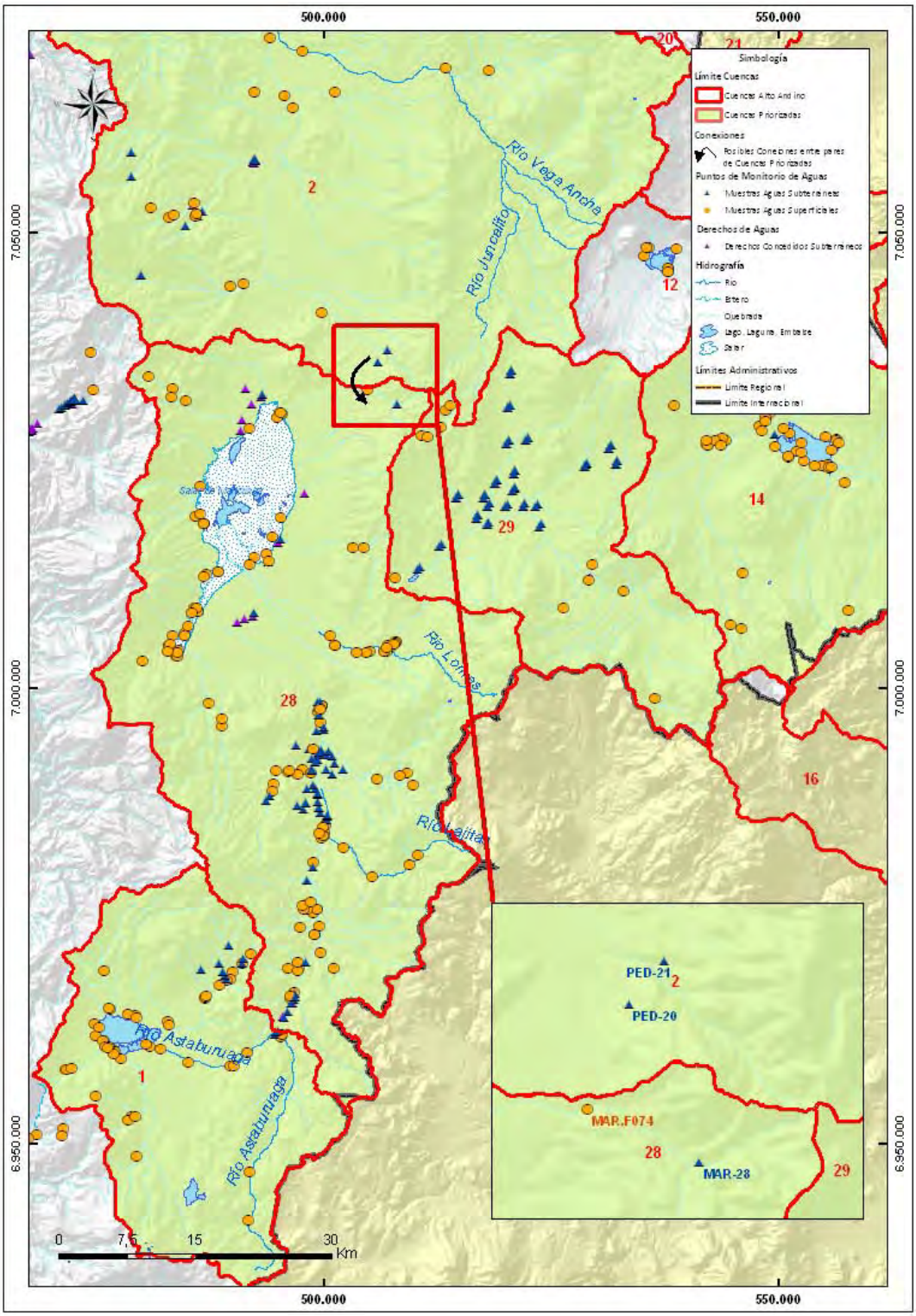
		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 MAR - 6	(mg/l)	24,5	8,9	118,0	9,5		116,0	86,6	137,0
	(meq/l)	1,2	0,7	5,1	0,2	5,4	2,5	2,4	2,3
	%	16,7	10,0			73,4	34,4	34,1	31,5

De los tres diagramas de Piper antes presentados, es posible establecer que todas las muestras (las del Salar de Maricunga y las de la Laguna del Negro Francisco) están en el cuadrante de Aguas **Cloruradas y/o Sulfatadas Sódicas**, por lo tanto se puede inferir que existe una conexión entre ambas cuencas.

11.5.5. Salar de Pedernales con Salar de Maricunga (cuencas 2 y 28)

La información de calidad de aguas físico química con que se cuenta se muestra en la Figura 11.5-15.

FIGURA 11.5-15
PUNTOS DE MUESTREO CONSIDERADOS PARA VERIFICAR LA POSIBLE CONEXIÓN ENTRE LA CUENCA DE SALAR B

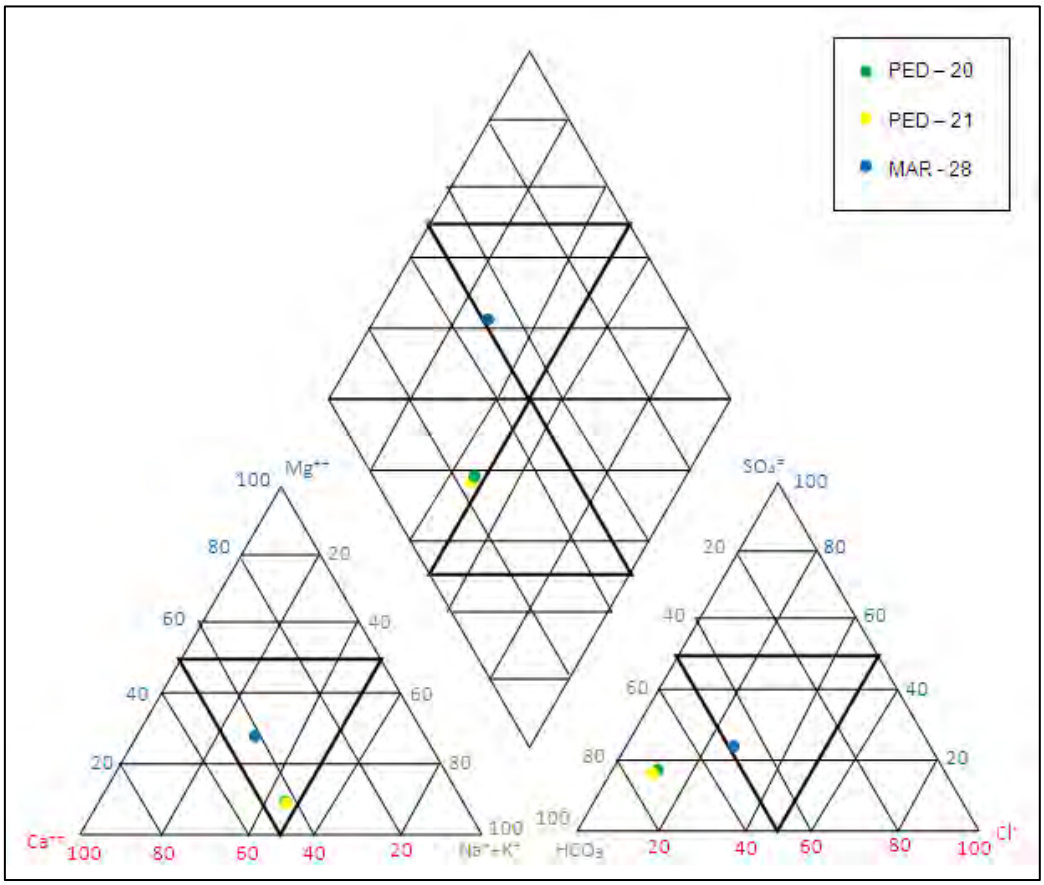


CUADRO 11.5-10
PUNTOS DE MUESTREO CON INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, CUENCA SALAR DE PEDERNALES Y CUENCA DE MARICUNGA

Referencia	Punto de Muestreo	Cuenca a la que pertenece
Ref. 7	PED – 20 PED – 21	Cuenca Salar de Pedernales
Ref. 7	MAR - 28	Cuenca Salar de Maricunga

Con la información química disponible se generó un diagrama de Piper que se muestra en la Figura 11.5-16.

FIGURA 11.5-16
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADO DE LA REFERENCIA 7



Fuente: Elaboración Propia con información química de la Ref. 7.

En el Cuadro 11.5-11 se muestran los cálculos efectuados.

CUADRO 11.5-11
CÁLCULO DE CATIONES Y ANIONES PARA CUENCA SALAR DE PEDERNALES Y CUENCA DE MARICUNGA

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 PED - 20	(mg/l)	15,0	2,3	16,2	2,0		13,1	5,6	64,7
	(meq/l)	0,8	0,2	0,7	0,1	0,8	0,3	0,2	1,1
	%	44,2	11,2			44,6	18,2	10,6	71,2

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 PED - 21	(mg/l)	15,2	2,4	16,1	2,6		12,8	5,3	69,5
	(meq/l)	0,8	0,2	0,7	0,1	0,8	0,3	0,2	1,1
	%	44,1	11,4			44,5	17,1	9,5	73,4

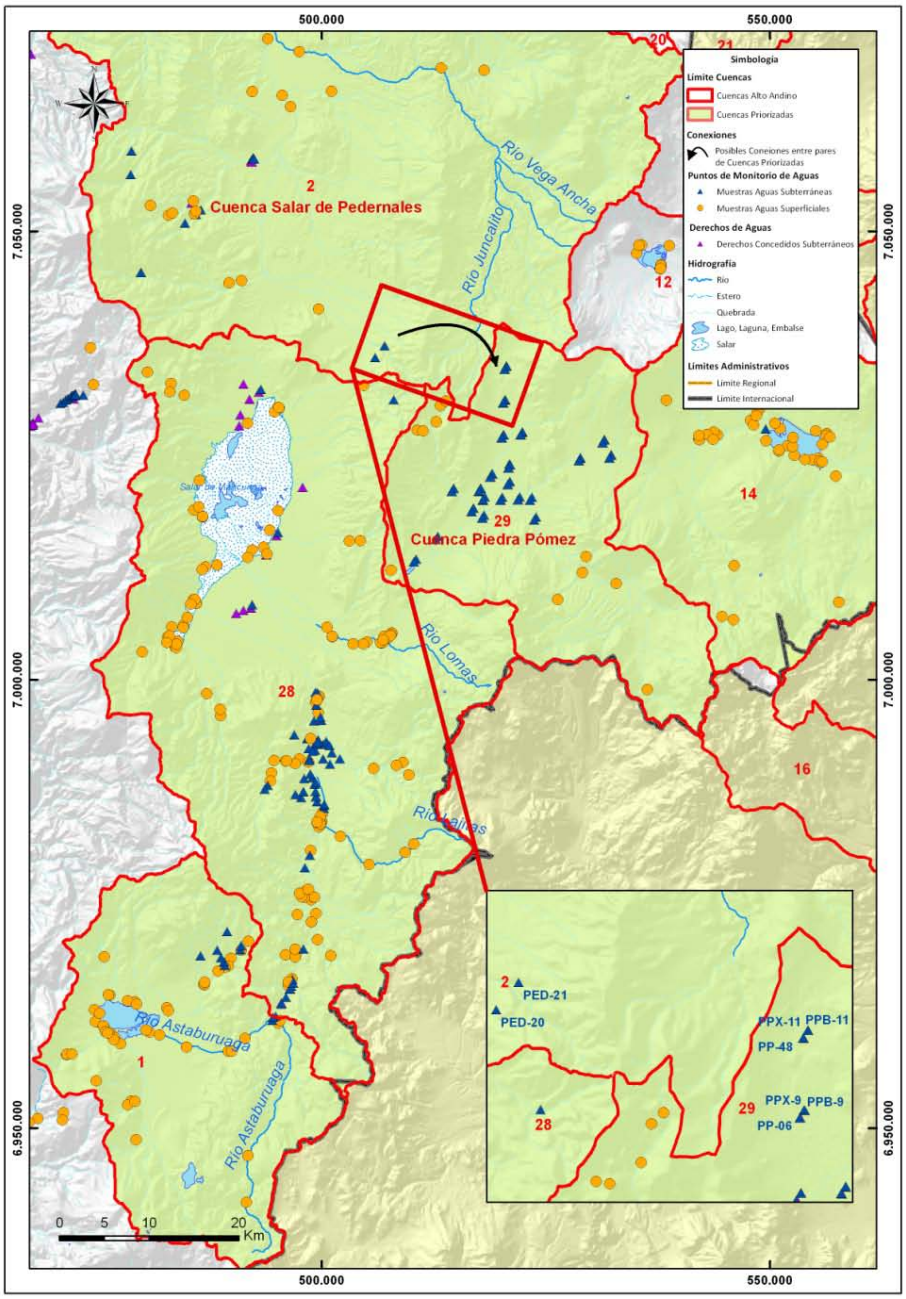
		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 MAR - 28	(mg/l)	40,9	15,7	34,5	0,8		48,7	42,6	132,0
	(meq/l)	2,0	1,3	1,5	0,0	1,5	1,0	1,2	2,2
	%	42,0	26,6			31,3	23,1	27,5	49,5

Del diagrama de Piper antes presentado y al compararlo con la figura 2, se tiene que las muestras PED-20 y PED-21 están en el cuadrante de Aguas **Bicarbonatas cálcicas y/o magnésicas** y la muestra MAR-28 se encuentra en el cuadrante de las Aguas **Sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas**, por lo tanto se puede inferir que no existe una conexión entre las cuencas.

11.5.6. Salar de Pedernales con Piedra Pómez (cuencas 2 y 29)

Los puntos de muestreo con a considerar se incluyen en la Figura 11.5-17.

FIGURA 11.5-17
PUNTOS DE MUESTREO CONSIDERADOS PARA VERIFICAR LA POSIBLE CONEXIÓN ENTRE LA CUENCA DE SALAR PEDERNALES Y CUENCA DE PIEDRA PÓMEZ



Esta información se presenta en tres referencias, considerando los siguientes puntos de muestreo:

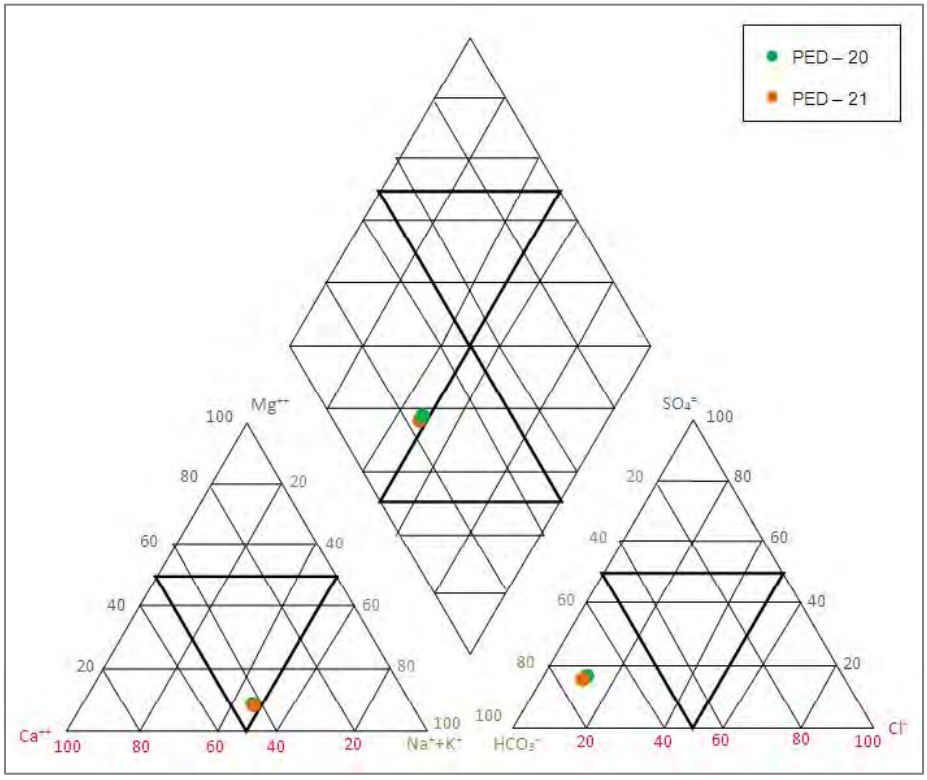
CUADRO 11.5-12
PUNTOS DE MUESTREO CON INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, CUENCA SALAR DE PEDERNALES Y CUENCA DE PIEDRA PÓMEZ

Referencia	Punto de Muestreo	Cuenca a la que pertenece
Ref. 7	PED – 20 PED – 21	Cuenca Salar de Pedernales
Ref. 21	PPX – 11 PPB – 11 PPX – 9 PPB – 9	Cuenca Piedra Pómez
Ref. 32	PP – 48 PP – 06	

De los puntos que se muestran en el cuadro anterior, los que pertenecen a la referencia 21 no cuentan con información físico-química y para los puntos de muestreo de la referencia 32 estos cuentan con Diagrama de Piper en sus informes.

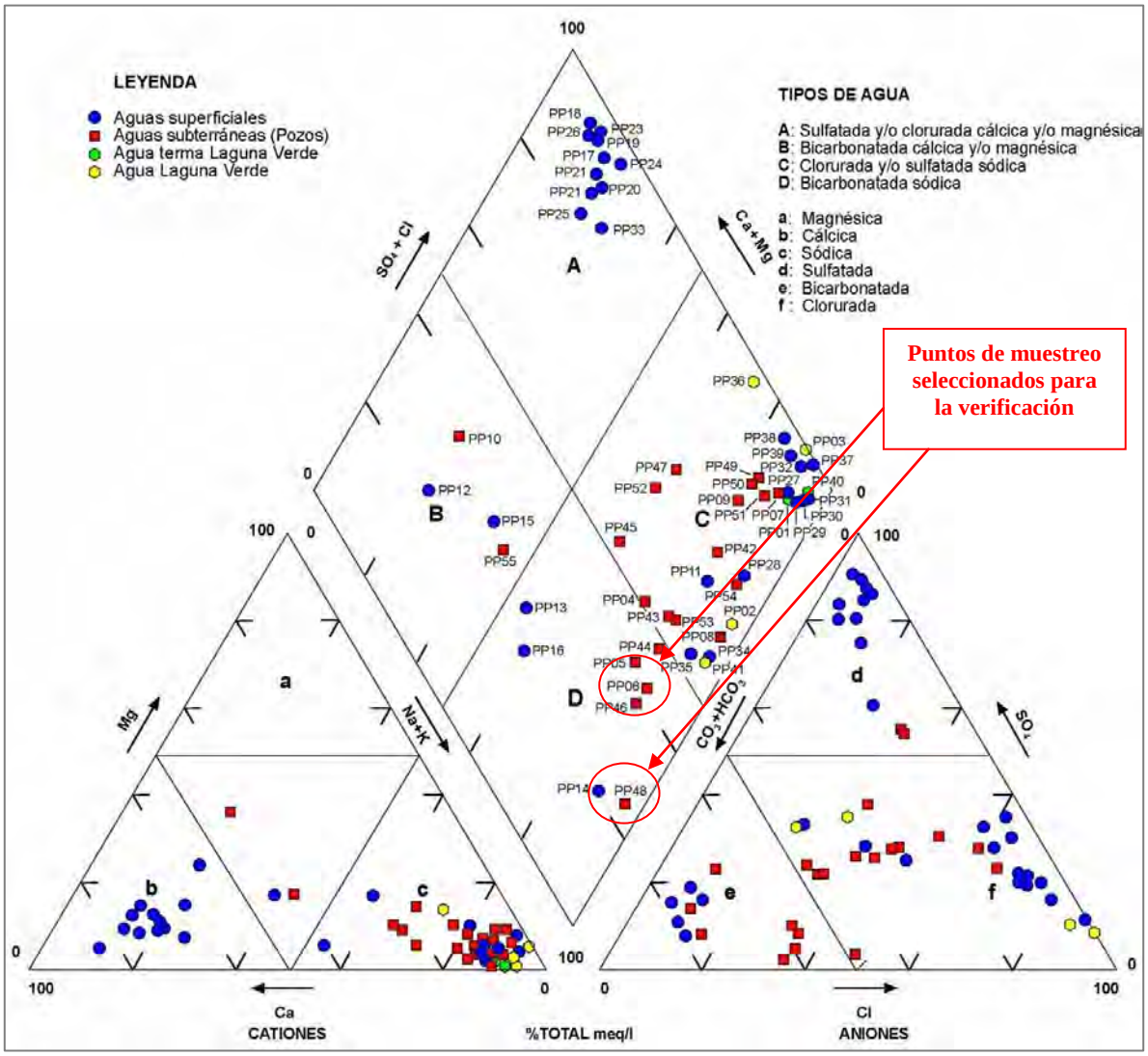
Con la información química disponible se generó un diagrama de Piper para los cuatro puntos de muestreo considerados. En las Figura 11.5-18 y 11.5-19 se presentan los diagramas de Piper.

FIGURA 11.5-18
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADOS DE LA REFERENCIA 7



Fuente: Elaboración propia con información química de la Ref. 7.

FIGURA 11.5-19
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADOS DE LA REFERENCIA 32



Fuente: Ref. 32 Imagen Diagrama de Piper.

Para obtener el diagrama de Piper para los puntos seleccionados de la Ref.7 se realizaron los cálculos que se incluyen en el Cuadro 11.5-13.

CUADRO 11.5-13
CÁLCULO DE CATIONES Y ANIONES PARA CUENCA SALAR DE PEDERNALES

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 PED - 20	(mg/l)	15,0	2,3	16,2	2,0		13,1	5,6	64,7
	(meq/l)	0,8	0,2	0,7	0,1	0,8	0,3	0,2	1,1
	%	44,2	11,2			44,6	18,2	10,6	71,2

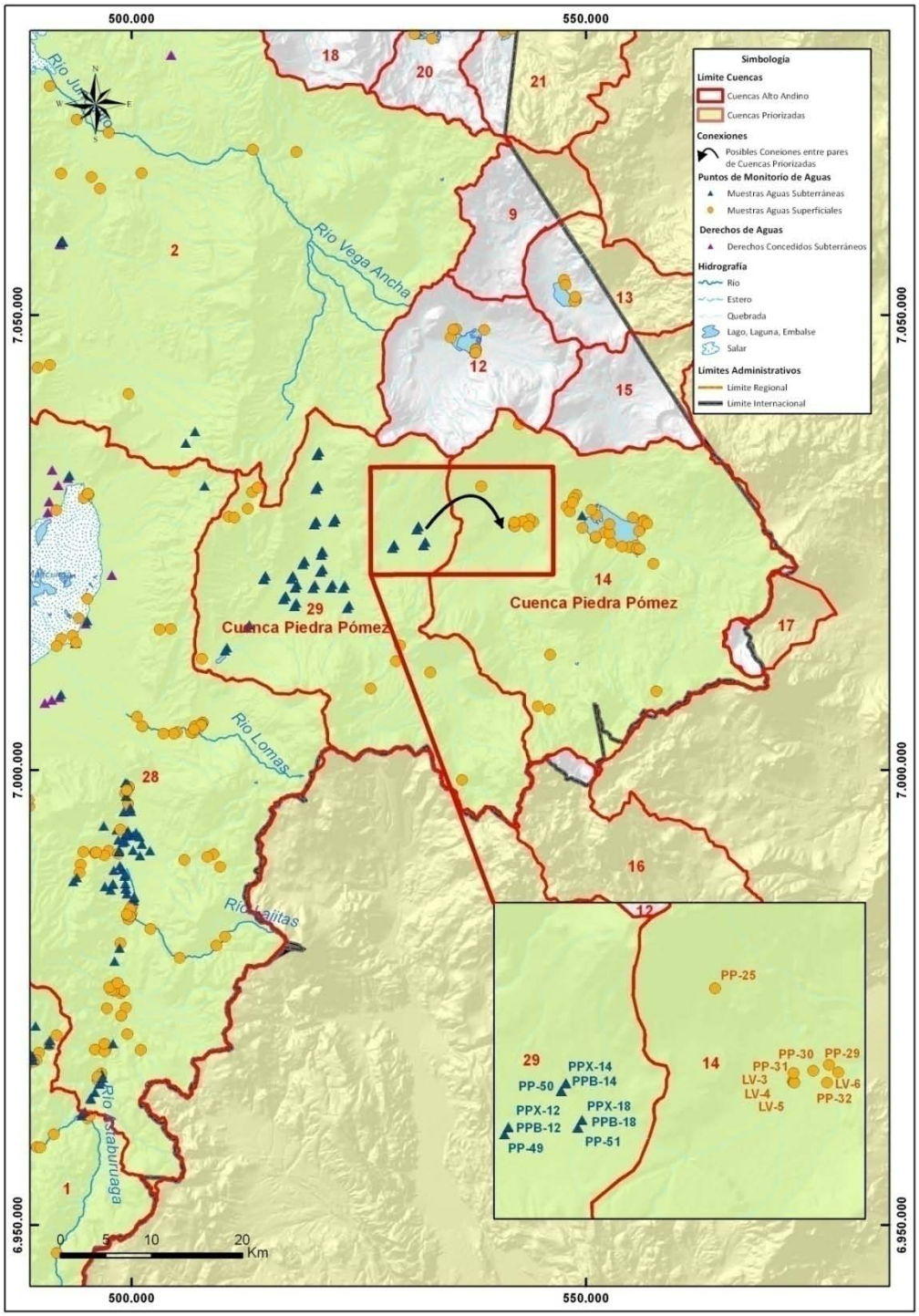
		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 PED - 21	(mg/l)	15,2	2,4	16,1	2,6		12,8	5,3	69,5
	(meq/l)	0,8	0,2	0,7	0,1	0,8	0,3	0,2	1,1
	%	44,1	11,4			44,5	17,1	9,5	73,4

De los dos diagramas de Piper antes presentados y al compararlos con la figura 2, se tiene que las muestras de la Cuenca Salar de Pedernales (PED-20 y PED 21) están en el cuadrante de **Aguas Bicarbonatas cálcicas y/o magnésicas,** mientras que las muestras de Piedra Pómez (PP-48 y PP-06) están en el cuadrante de **Aguas Bicarbonatadas sódicas,** por lo tanto se puede concluir que no existiría una conexión entre las cuencas.

11.5.7. Salar de Laguna Verde con Piedra Pómez (cuenca 14 y 29)

En la Figura 11.5-20 se muestran los puntos de muestreo considerados.

FIGURA 11.5-20
PUNTOS DE MUESTREO CONSIDERADOS PARA VERIFICAR LA POSIBLE CONEXIÓN ENTRE LA CUENCA DE SALAR DE LAGUNA VERDE Y CUENCA PIEDRA PÓMEZ

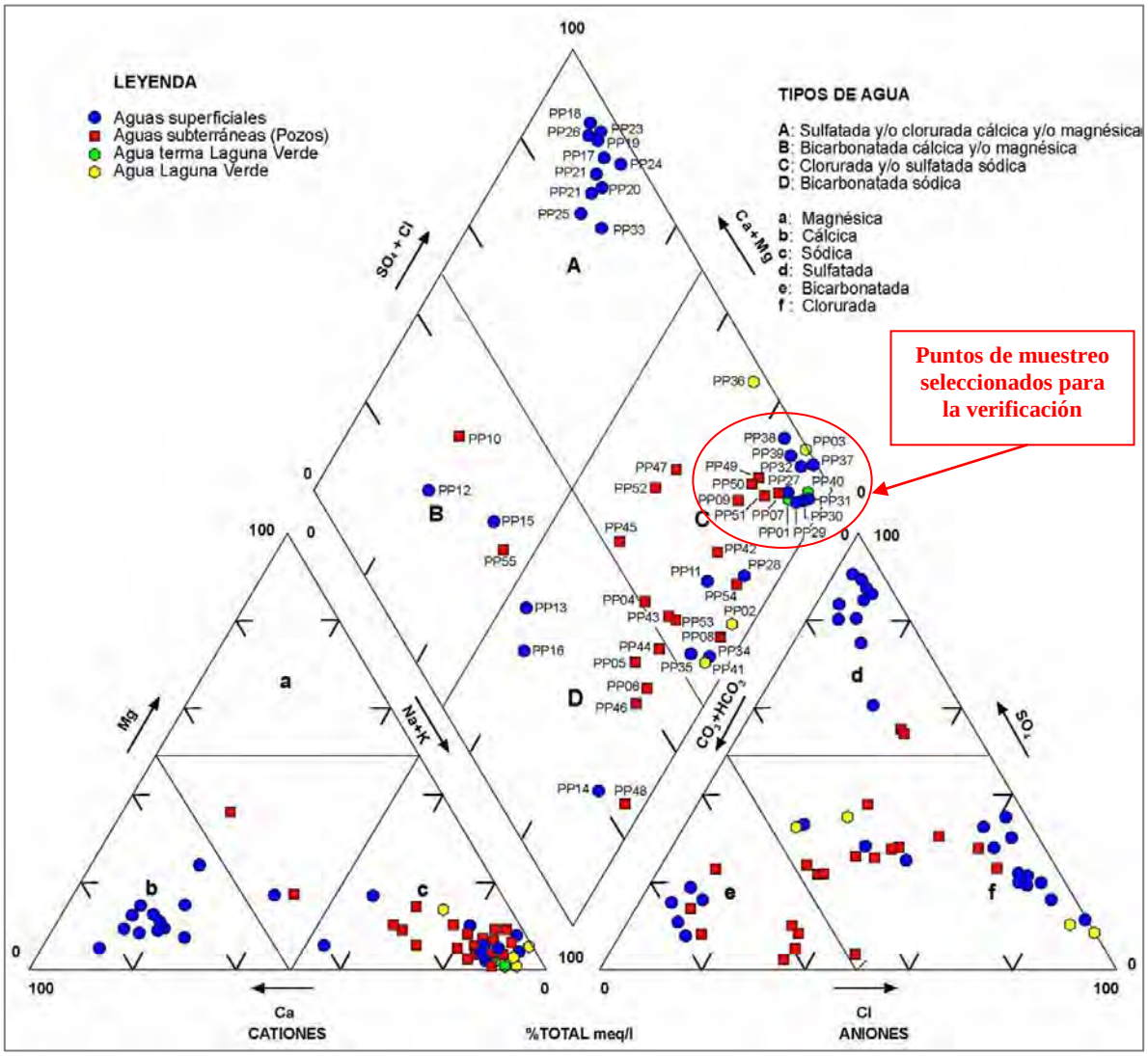


CUADRO 11.5-14
PUNTOS DE MUESTREO CON INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS, CUENCA SALAR DE LAGUNA VERDE Y CUENCA PIEDRA PÓMEZ

Referencia	Punto de Muestreo	Cuenca a la que pertenece
Ref. 17_2	LV – 3 LV – 4 LV – 5 LV – 6	Cuenca de Laguna Verde
Ref. 21	PPX – 14 PPB – 14 PPB – 18 PPX – 18 PPX – 12 PPB – 12	Cuenca Piedra Pómez
Ref. 32	PP – 29 PP – 30 PP – 31 PP – 32	Cuenca de Laguna Verde
	PP – 49 PP - 50 PP - 51	Cuenca Piedra Pómez

De los puntos de muestreo del cuadro anterior, se tiene que las muestras de la Ref. 17_2 no tienen información de utilidad para realizar el diagrama de Piper. Los puntos de muestreo pertenecientes a la Ref. 21 tampoco tienen información físico-química, y finalmente las muestras de la Ref.32 cuentan con Diagrama de Piper, el cual se muestra a continuación.

FIGURA 11.5-21
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADOS DE LA REFERENCIA 32



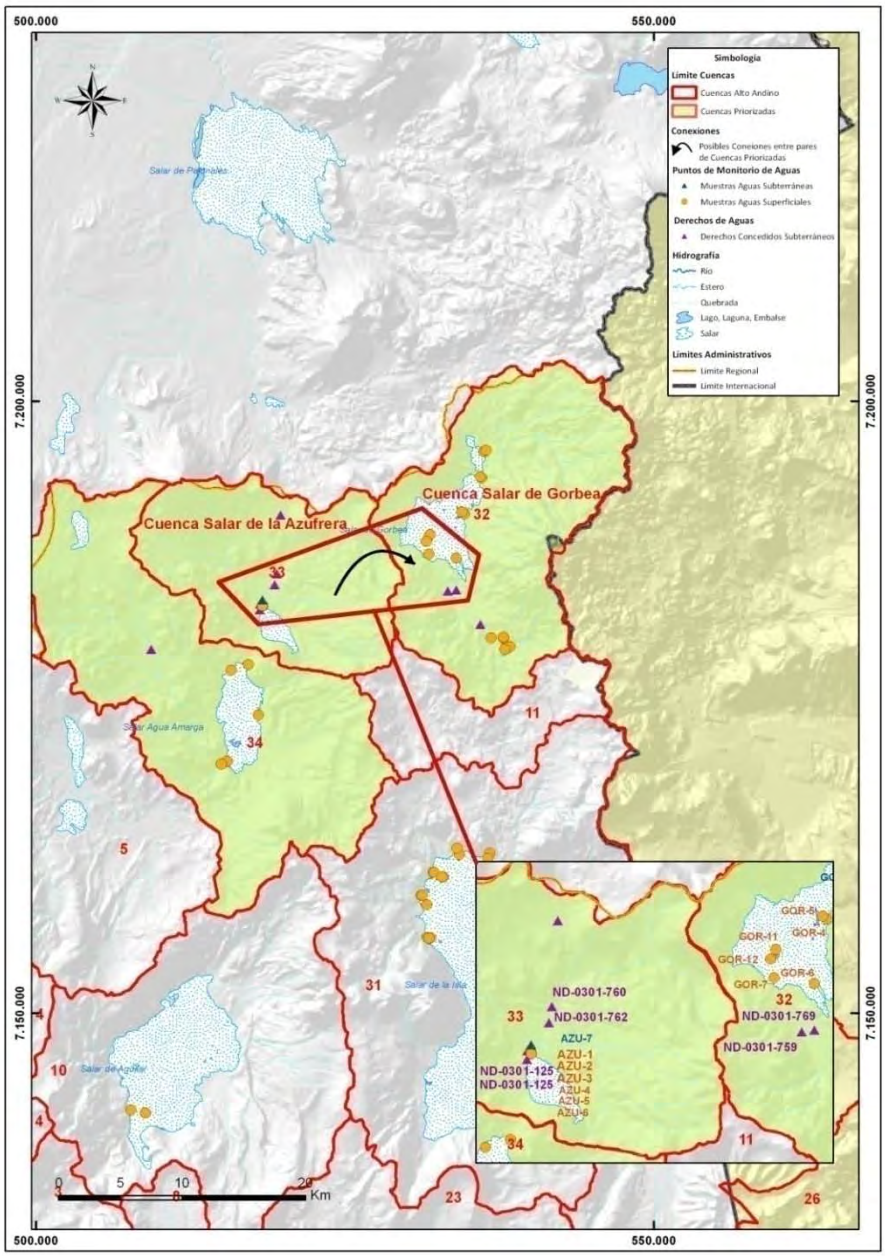
Fuente: Ref.32

Del diagrama de Piper, tanto las muestras presentes en la cuenca Salar Laguna Verde, como las muestras en la cuenca Piedra Pómez están en el cuadrante de **Aguas Cloruradas y/o sulfatadas sódicas**, por lo tanto se puede inferir que podría existe una conexión entre las cuencas. Se debe señalar que esta conexión se produce entre muestras que corresponden a aguas subterráneas (PP-49, PP-50,PP-51) y aguas superficiales (PP-29, PP-30, PP-31, PP-32).

11.5.8. Salar de Gorbea con Salar de La Azufrera (cuencas 32 y 33)

En la Figura 11.5-22 se muestran los puntos de muestreo considerados.

FIGURA 11.5-22
PUNTOS DE MUESTREO CONSIDERADOS PARA VERIFICAR LA POSIBLE CONEXIÓN ENTRE LA CUENCA SALAR DE GORBEA CON SALAR DE LA AZUFRERA



CUADRO 11.5-15
PUNTOS DE MUESTREO CON INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS, CUENCA SALAR DE GORBEA Y CUENCA SALAR DE LA AZUFRERA

Referencia	Punto de Muestreo	Cuenca a la que pertenece
Ref. 7	AZU - 1 AZU - 2 AZU - 3 AZU - 4 AZU – 5 AZU – 6 AZU – 7	Cuenca Salar de la Azufrera
	GOR – 4 GOR – 5 GOR – 6 GOR – 7 GOR – 11 GOR – 12	Cuenca Salar de Gorbea

Además, se cuenta con información de los derechos subterráneos concedidos los que se detallan a continuación

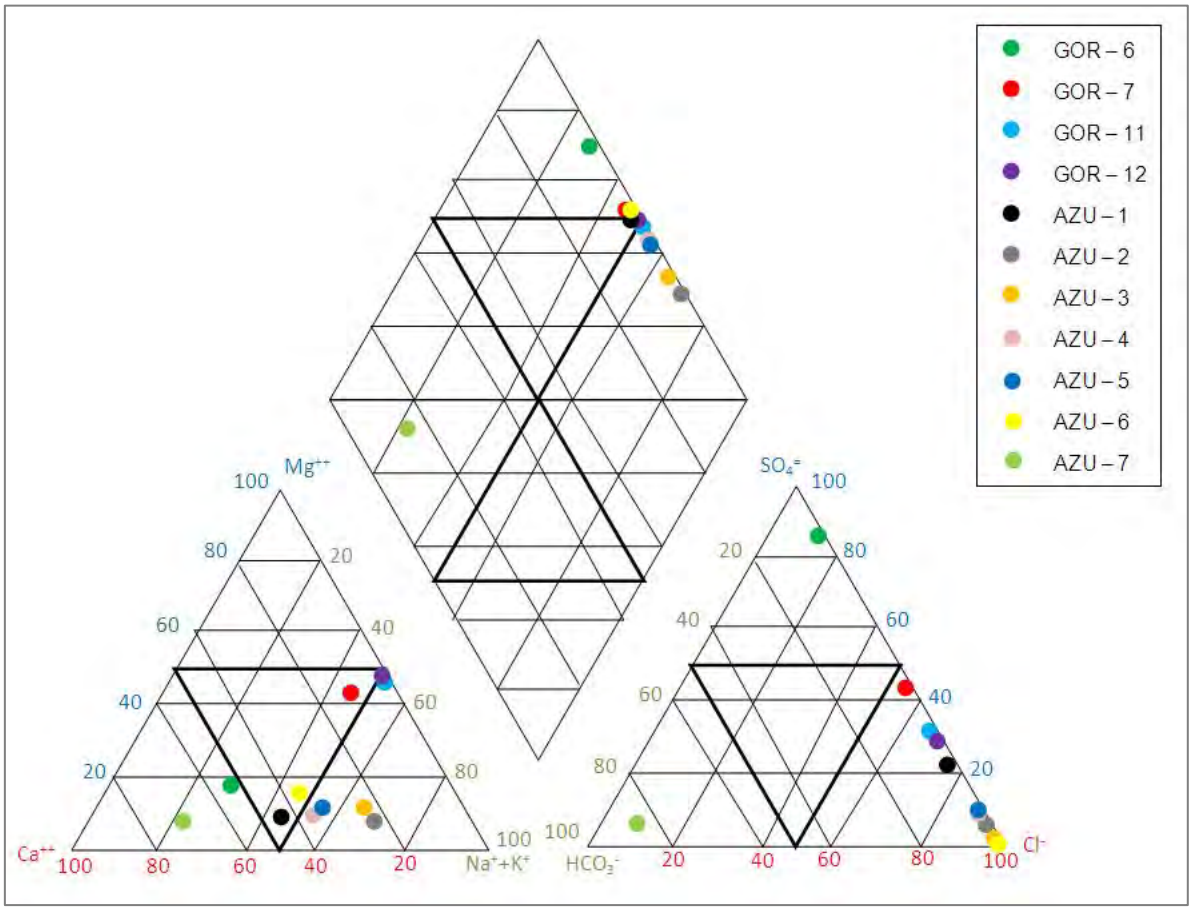
CUADRO 11.5-16
DERECHOS SUBTERRÁNEOS CONCEDIDOS

Derechos Subterráneos	Cuenca a la que pertenece
ND-0301-760 ND-0301-762 ND-0301-125	Cuenca Salar de la Azufrera
ND-0301-759 ND-0301-769	Cuenca Salar de Gorbea

Del listado anterior de los Derechos Subterráneos concedidos, ninguno de ellos es útil para incorporarlo al Diagrama de Piper ya que no cuentan con información físico-química.

Con la información química disponible se generó un diagrama de Piper para los 11 puntos de muestreo considerados (Figura 11.5-23).

FIGURA 11.5-23
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADOS DE LA REFERENCIA 7



Fuente: Elaboración Propia con información química de la Ref. 7.

Para obtener el diagrama de Piper para los puntos seleccionados de la Ref. 7, se realizaron los siguientes cálculos.

CUADRO 11.5-17
CÁLCULO DE CATIONES Y ANIONES PARA CUENCA SALAR DE GORBEA Y CUENCA SALAR DE LA AZUFRERA

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 GOR - 6	(mg/l)	453,0	94,0	253,0	48,1		1.710,0	200,0	25,2
	(meq/l)	22,6	7,7	11,0	1,2	12,2	35,4	5,6	0,4
	%	53,1	18,2			28,7	85,4	13,6	1,0

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 GOR - 7	(mg/l)	573,0	950,0	1.860,0	132,0		4.730,0	3.980,0	0,0
	(meq/l)	28,6	78,2	80,9	3,4	84,3	97,9	112,3	0,2
	%	15,0	40,9			44,1	46,5	53,4	0,1

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 GOR - 11	(mg/l)	245,0	27.000,0	49.000,0	5.790,0		85.700,0	122.000,0	0,0
	(meq/l)	12,2	2.221,8	2.131,4	148,1	2.279,5	1.774,1	3.441,2	11,7
	%	0,3	49,2			50,5	33,9	65,8	0,2

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 GOR - 12	(mg/l)	240,0	27.900,0	51.100,0	4.220,0		80.700,0	124.000,0	0,0
	(meq/l)	12,0	2.295,8	2.222,7	107,9	2.330,6	1.670,6	3.497,6	1,8
	%	0,3	49,5			50,3	32,3	67,7	0,0

CUADRO 11.5-18
CÁLCULO DE CATIONES Y ANIONES PARA CUENCA SALAR DE GORBEA Y CUENCA SALAR DE LA AZUFRERA

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 1	(mg/l)	350,0	39,9	327,0	31,2		381,0	973,0	24,5
	(meq/l)	17,5	3,3	14,2	0,8	15,0	7,9	27,4	0,4
	%	48,8	9,2			42,0	22,1	76,8	1,1

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 2	(mg/l)	4.530,0	1.080,0	14.000,0	1.010,0		2.090,0	31.700,0	113,0
	(meq/l)	226,1	88,9	609,0	25,8	634,8	43,3	894,1	1,9
	%	23,8	9,4			66,8	4,6	95,2	0,2

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 3	(mg/l)	12.500,0	3.160,0	30.400,0	2.520,0		1.960,0	77.700,0	325,0
	(meq/l)	623,8	260,0	1.322,3	64,5	1.386,8	40,6	2.191,6	5,3
	%	27,5	11,5			61,1	1,8	98,0	0,2

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 4	(mg/l)	1.100,0	156,0	1.640,0	113,0		824,0	4.260,0	75,6
	(meq/l)	54,9	12,8	71,3	2,9	74,2	17,1	120,2	1,2
	%	38,7	9,0			52,3	12,3	86,8	0,9

CUADRO 11.5-19
CÁLCULO DE CATIONES Y ANIONES PARA CUENCA SALAR DE GORBEA Y CUENCA SALAR DE LA AZUFRERA

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 5	(mg/l)	2.380,0	423,0	3.980,0	332,0		1.580,0	10.400,0	31,9
	(meq/l)	118,8	34,8	173,1	8,5	181,6	32,7	293,4	0,5
	%	35,4	10,4			54,2	10,0	89,8	0,2

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 6	(mg/l)	43.300,0	11.700,0	55.200,0	7.590,0		466,0	202.000,0	0,0
	(meq/l)	2.160,8	962,8	2.401,0	194,1	2.595,2	9,7	5.697,7	31,7
	%	37,8	16,8			45,4	0,2	99,3	0,6

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 7	(mg/l)	117,0	9,3	33,8	10,6		148,0	157,0	28,7
	(meq/l)	5,8	0,8	1,5	0,3	1,7	3,1	4,4	31,7
	%	70,0	9,2			20,9	7,8	11,3	80,9

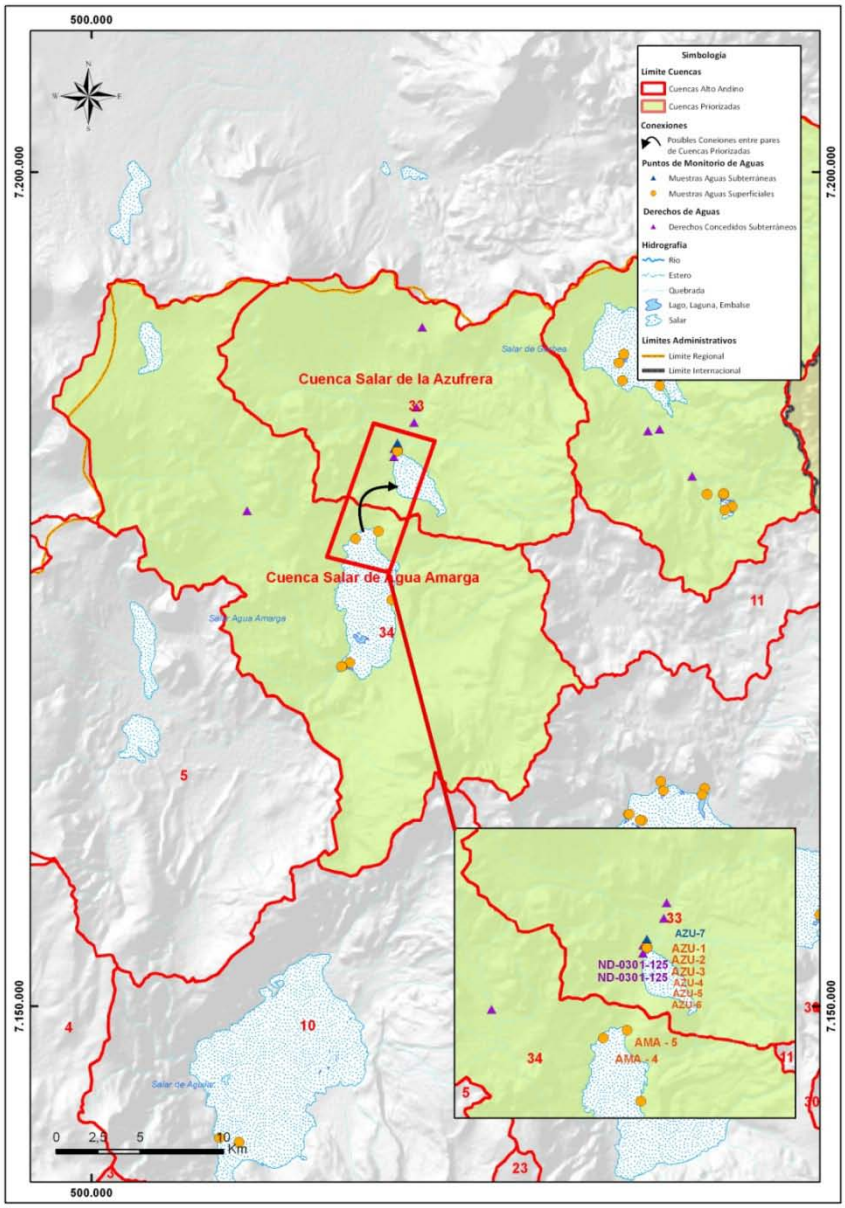
Del diagrama de Piper antes presentado y se tiene que la mayoría de los puntos de muestreo de la Cuenca Salar de la Azufrera están en el cuadrante de **Aguas Cloruradas y/o sulfatadas sódicas**, con excepción de AZU – 1 y AZU – 6 que están en el cuadrante de **Aguas Sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas.** Por otro lado, las muestras que pertenecen a la Cuenca Salar de Gorbea están en el cuadrante de **Aguas Sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas**; el punto de muestreo AZU – 7 que corresponde a la única muestra subterránea presente, ya que todas las demás son muestras superficiales, está en el cuadrante de **Aguas Bicarbonatas cálcicas y/o magnésicas.**

Así, se puede establecer que no existiría conexión entre las cuencas ya que la muestra subterránea AZU – 7 no tiene conexión con las muestras que se encuentran en la cuenca Salar de Gorbea.

11.5.9. Salar de la Azufrera con Salar de Agua Amarga (cuencas 33 y 34)

Ambas cuencas cuentan con información físico-química para aguas superficiales y subterráneas.

FIGURA 11.5-24
PUNTOS DE MUESTREO CONSIDERADOS PARA VERIFICAR LA POSIBLE CONEXIÓN ENTRE LA CUENCA SALAR DE LA AZUFRERA Y CUENCA SALAR DE AGUA AMARGA

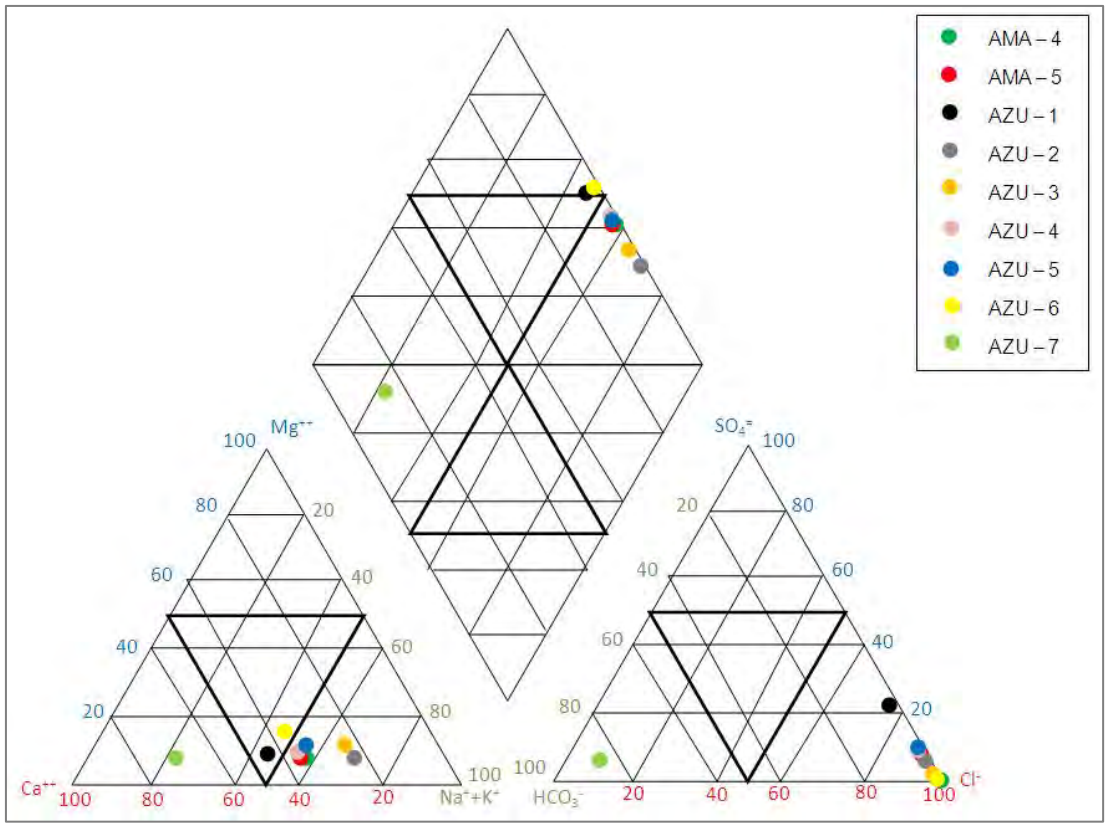


CUADRO 11.5-20
PUNTOS DE MUESTREO CON INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS, CUENCA SALAR DE LA AZUFRERA Y CUENCA SALAR DE AGUA AMARGA

Referencia	Punto de Muestreo	Cuenca a la que pertenece
Ref. 7	AZU - 1 AZU - 2 AZU - 3 AZU - 4 AZU – 5 AZU – 6 AZU – 7	Cuenca Salar de la Azufrera
	AMA – 4 AMA – 5	Cuenca Salar de Agua Amarga

Con la información química disponible se generó un diagrama de Piper para los 9 puntos de muestreo considerados, el cual se muestra en la Figura 11.5-25.

FIGURA 11.5-25
DIAGRAMA DE PIPER, PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADO DE LA REFERENCIA 7



Fuente: Elaboración propia con información química de la Ref. 7

Para obtener el diagrama de Piper para los puntos seleccionados de la Ref. 7, se realizaron los siguientes cálculos

Los cálculos se incluyen en el Cuadro 11.5-21 y 11.5-22.

CUADRO 11.5-21
CÁLCULO DE CATIONES Y ANIONES PARA CUENCA SALAR DE LA AZUFRERA Y CUENCA SALAR DE AGUA AMARGA

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 1	(mg/l)	350,0	39,9	327,0	31,2		381,0	973,0	24,5
	(meq/l)	17,5	3,3	14,2	0,8	15,0	7,9	27,4	0,4
	%	48,8	9,2			42,0	22,1	76,8	1,1

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 2	(mg/l)	4.530,0	1.080,0	14.000,0	1.010,0		2.090,0	31.700,0	113,0
	(meq/l)	226,1	88,9	609,0	25,8	634,8	43,3	894,1	1,9
	%	23,8	9,4			66,8	4,6	95,2	0,2

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 3	(mg/l)	12.500,0	3.160,0	30.400,0	2.520,0		1.960,0	77.700,0	325,0
	(meq/l)	623,8	260,0	1.322,3	64,5	1.386,8	40,6	2.191,6	5,3
	%	27,5	11,5			61,1	1,8	98,0	0,2

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 4	(mg/l)	1.100,0	156,0	1.640,0	113,0		824,0	4.260,0	75,6
	(meq/l)	54,9	12,8	71,3	2,9	74,2	17,1	120,2	1,2
	%	38,7	9,0			52,3	12,3	86,8	0,9

CUADRO 11.5-22
CÁLCULO DE CATIONES Y ANIONES PARA CUENCA SALAR DE LA AZUFRERA Y CUENCA SALAR DE AGUA AMARGA

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 5	(mg/l)	2.380,0	423,0	3.980,0	332,0		1.580,0	10.400,0	31,9
	(meq/l)	118,8	34,8	173,1	8,5	181,6	32,7	293,4	0,5
	%	35,4	10,4			54,2	10,0	89,8	0,2

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 6	(mg/l)	43.300,0	11.700,0	55.200,0	7.590,0		466,0	202.000,0	0,0
	(meq/l)	2.160,8	962,8	2.401,0	194,1	2.595,2	9,7	5.697,7	31,7
	%	37,8	16,8			45,4	0,2	99,3	0,6

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AZU - 7	(mg/l)	117,0	9,3	33,8	10,6		148,0	157,0	28,7
	(meq/l)	5,8	0,8	1,5	0,3	1,7	3,1	4,4	31,7
	%	70,0	9,2			20,9	7,8	11,3	80,9

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AMA - 4	(mg/l)	24.100,0	3.090,0	43.200,0	2.490,0		674,0	121.000,0	0,0
	(meq/l)	1.202,7	254,3	1.879,1	63,7	1.942,8	14,0	3.413,0	18,1
	%	35,4	7,5			57,2	0,4	99,1	0,5

		Cationes					Aniones		
		Ca++	Mg++	Na+	K+	Na+ + K+	SO4--	Cl-	HC3-
Ref.7 AMA - 5	(mg/l)	2.380,0	306,0	3.890,0	197,0		1.280,0	9.900,0	100,0
	(meq/l)	118,8	25,2	169,2	5,0	174,2	26,5	279,2	1,6
	%	37,3	7,9			54,8	8,6	90,9	0,5

Del diagrama de Piper antes presentado, se tiene que la mayoría de las muestras que se encuentran en la cuenca Salar de la Azufrera están en el cuadrante de **Aguas Cloruradas y/o sulfatadas sódicas,** con excepción de AZU – 1 y AZU – 6 que están en el cuadrante de **Aguas Sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas**. Por otro lado las dos muestras que pertenecen a la cuenca Salar de Agua Amarga están en el cuadrante de **Aguas Cloruradas y/o sulfatadas sódicas**; el punto de

muestreo AZU – 7 que corresponde a la única muestra subterránea presente, ya que todas las demás son muestras superficiales, está en el cuadrante de **Aguas Bicarbonatas cálcicas y/o magnésicas.**

Lo señalado permite concluir que existiría conexión entre las cuencas, ya que sólo la muestra AZU-7 se diferencia de las demás.

11.5.10. Resumen de los Análisis Efectuados

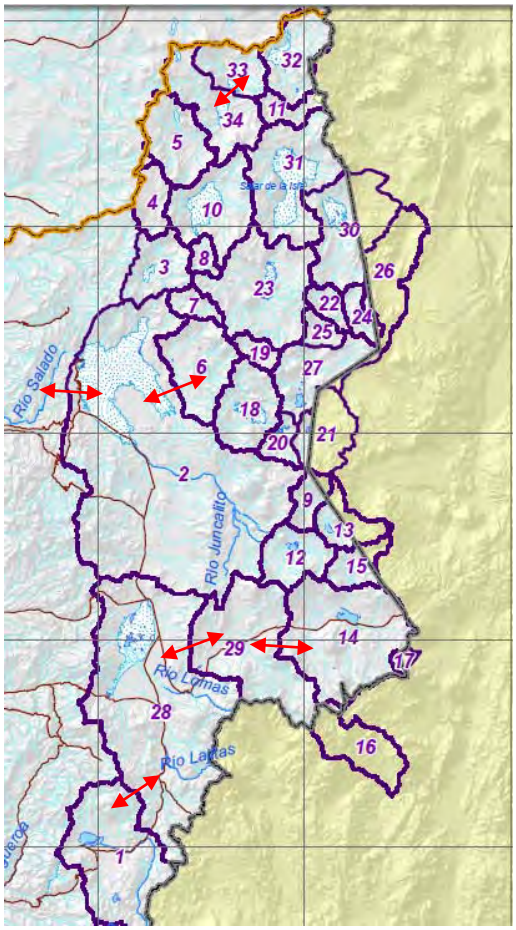
En el Cuadro 11.5-23 se incluye un resumen de los análisis efectuados.

CUADRO 11.5-23
RESUMEN ANÁLISIS DE INTERCONEXIONES ENTRE CUENCAS

Nombre Cuenca / ID	Combinación	ID Cuencas	Conexión	Característica del Agua
Cuenca Salar de Pedernales / ID 2 Río Salado	Sup. - Sup.		Sí	Aguas Cloruradas y/o sódicas
Cuenca La Laguna / ID 6 Cuenca Salar de Pedernales / ID 2	Sup. - Sup.		Sí	Aguas Cloruradas y/o sódicas
Cuenca Piedra Pómez / ID 29 Cuenca Salar de Maricunga / ID 28	Sub. - Sup.	ID 29: Muestra Sub. ID 28: Muestra Sup.	Sí	Aguas Bicarbonatas cálcicas y/o magnésicas
Cuenca Laguna del Negro Francisco / ID 1 Cuenca Salar de Maricunga / ID 28	Sub. - Sub.		Sí	Aguas Cloruradas y/o Sulfatadas Sódicas
Cuenca Salar de Pedernales / ID 2 Cuenca Salar de Maricunga / ID 28	Sub. - Sub.		No	-
Cuenca Salar de Pedernales / ID 2 Cuenca Piedra Pómez / ID 29	Sub. - Sub.		No	-
Cuenca Salar Laguna Verde / ID 14 Cuenca Piedra Pómez / ID 29	Sup. - Sub.	ID 14: Muestra Sup. ID 29: Muestra Sub.	Sí	Aguas Cloruradas y/o Sulfatadas Sódicas
Cuenca Salar de Gorbea / ID 32 Cuenca Salar de la Azufrera / ID 33	Sup. - Sub.	ID 32: Muestra Sup. ID 33: Muestra Sup. y Sub.	No	-
Cuenca Salar de la Azufrera / ID 33 Cuenca Salar de Agua Amarga / ID 34	Sub. - Sup.	ID 33: Muestra Sup. y Sub. ID 34: Muestra Sup.	Sí	-

En la Figura 11.5-26 se muestra una figura donde se muestran las poibles conexiones entre cuencas vecinas.

FIGURA 11.5-26
POAIBLES CONEXIONES ENTRE CUENCAS VECINAS



12. Modelo de Balance Hídrico

12.1. Planteamiento Conceptual del Modelo

El Modelo implementado permite realizar un balance hídrico a escala mensual, a nivel superficial, subsuperficial y subterráneo, para cada una de las 9 cuencas priorizadas.

Para ello, cada cuenca se divide en subcuencas, distinguiéndose dentro de ellas, un área pluvial y un área nival, así como también un área de relleno sedimentario permeable y un área impermeable. En todas estas subáreas se determina la cota media del centro de gravedad, y se establecen precipitaciones y evaporaciones de tanque, en términos medios mensuales.

El agua que precipita sobre una subcuenca puede caer sobre la zona impermeable o sobre el relleno sedimentario. Una parte de ella evapora o evapotranspira, y el excedente deriva hacia cauces superficiales, a unidades de acumulación superficial, a infiltración subsuperficial o a percolación profunda. Estas unidades de acumulación están separadas en: lagunas, bofedales y salares, y en cada una de ellas se realiza un balance hídrico independiente, en donde las entradas son la precipitación y los caudales aportados por la subcuenca en que la unidad se encuentra, y las salidas son la evaporación y los flujos superficiales, subsuperficiales y subterráneos hacia la misma subcuenca. En el Anexo 12-1 se consignan mayores detalles de las bases conceptuales del Modelo.

12.1.1. Cauces Superficiales

Los cauces superficiales de cada subcuenca quedan representados por un único cauce, correspondiente al cauce principal, caracterizado por su longitud L. Con la superficie total de la subcuenca y la longitud del cauce, se determina el factor de forma F = Superficie / L^2, y luego, conocida la precipitación anual P en la subcuenca, se establece un caudal medio anual superficial, a través de la relación (ver punto 6.3.2):

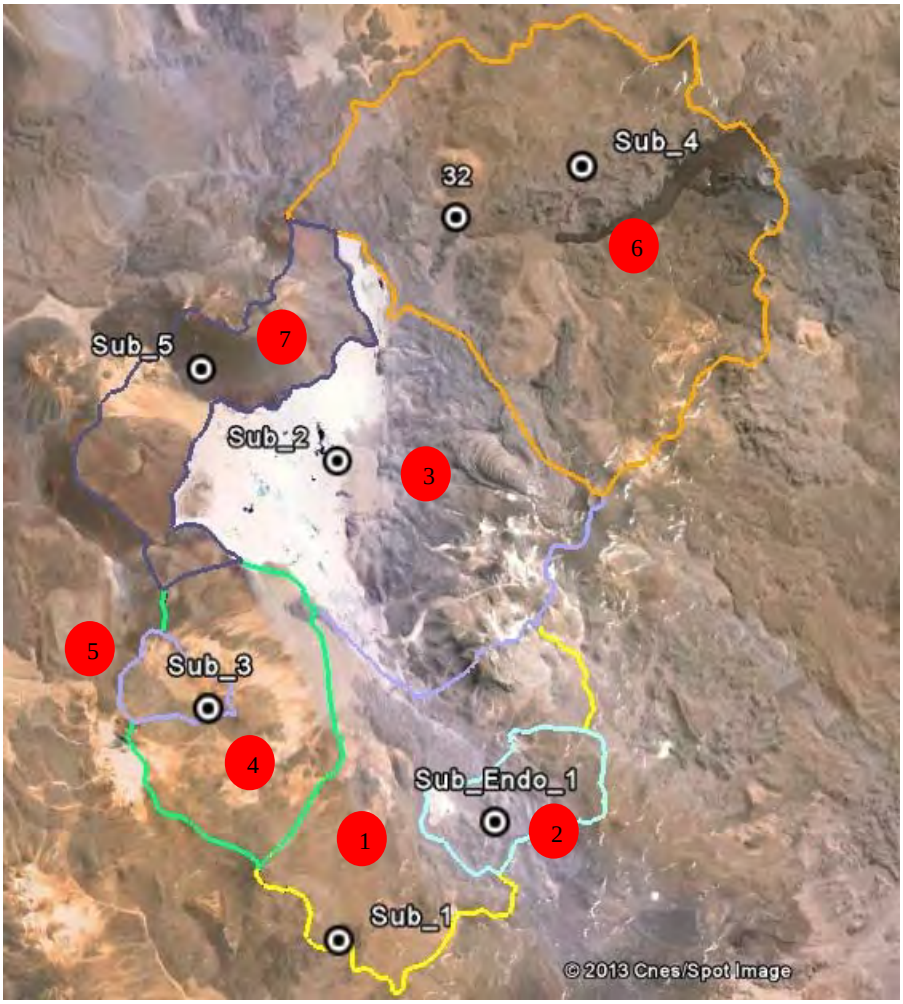
$$Q = C * P * \text{Superficie} / (\text{Nº seg año}) \qquad (1)$$

donde C es el coeficiente de escorrentía calculado de C = Cmax * F, con Cmáx = 0,23.

El caudal superficial así calculado, a la salida de cada subcuenca, permite determinar un caudal esperado en ese punto, el que en conjunto con datos de caudales observados en estaciones fluviométricas existentes o a partir de aforos en puntos específicos, realizados durante la campaña de terreno de octubre del 2013, proporciona un antecedente relevante para la calibración de parámetros del modelo de simulación, al comparar caudales simulados con caudales esperados.

Por último, cada cauce principal es modelado como una secuencia de nodos equidistanciados, siendo la distancia entre nodos igual a la longitud total del cauce dividida por el número de nodos menos uno. Se establecen nodos que reciben aportes de agua superficial proveniente de la subcuenca, y nodos que corresponden a puntos de extracción de agua superficial. Y se determina, como parte del proceso de calibración, la percolación desde el cauce hacia el acuífero. En las siguientes figuras se muestran las cuencas y sus subcuencas asociadas.

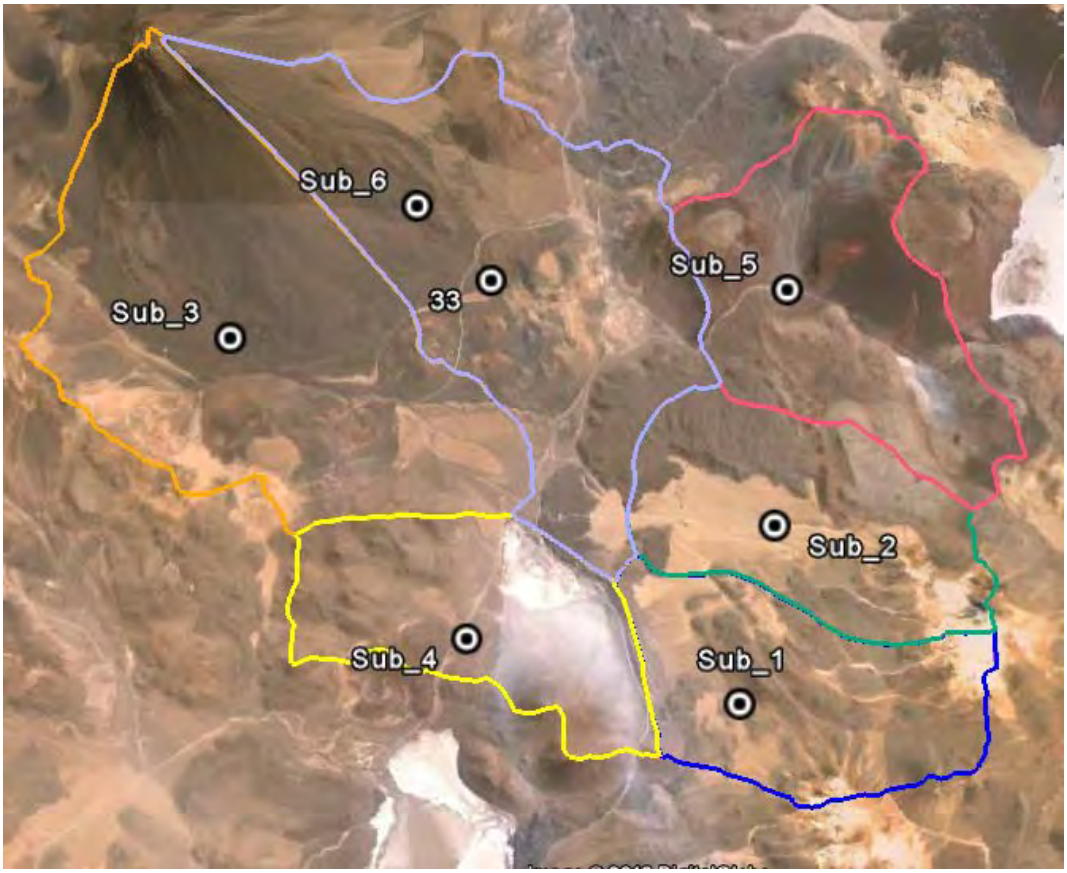
FIGURA 12.1-1
CUENCA 32 Y SUS SUBCUENCAS



Nota: Sub_Endo_1 es cuenca endorreica al interior de la sub-sub cuenca 1. En círculo se destaca número de sub cuenca para modelación.

Fuente:Elaboración propia; Google Earth Pro

FIGURA 12.1-2
CUENCA 33 Y SUS SUBCUENCAS



Fuente:Elaboración Propia; Google Earth Pro

FIGURA 12.1-3
CUENCA 34 Y SUS SUBCUENCAS



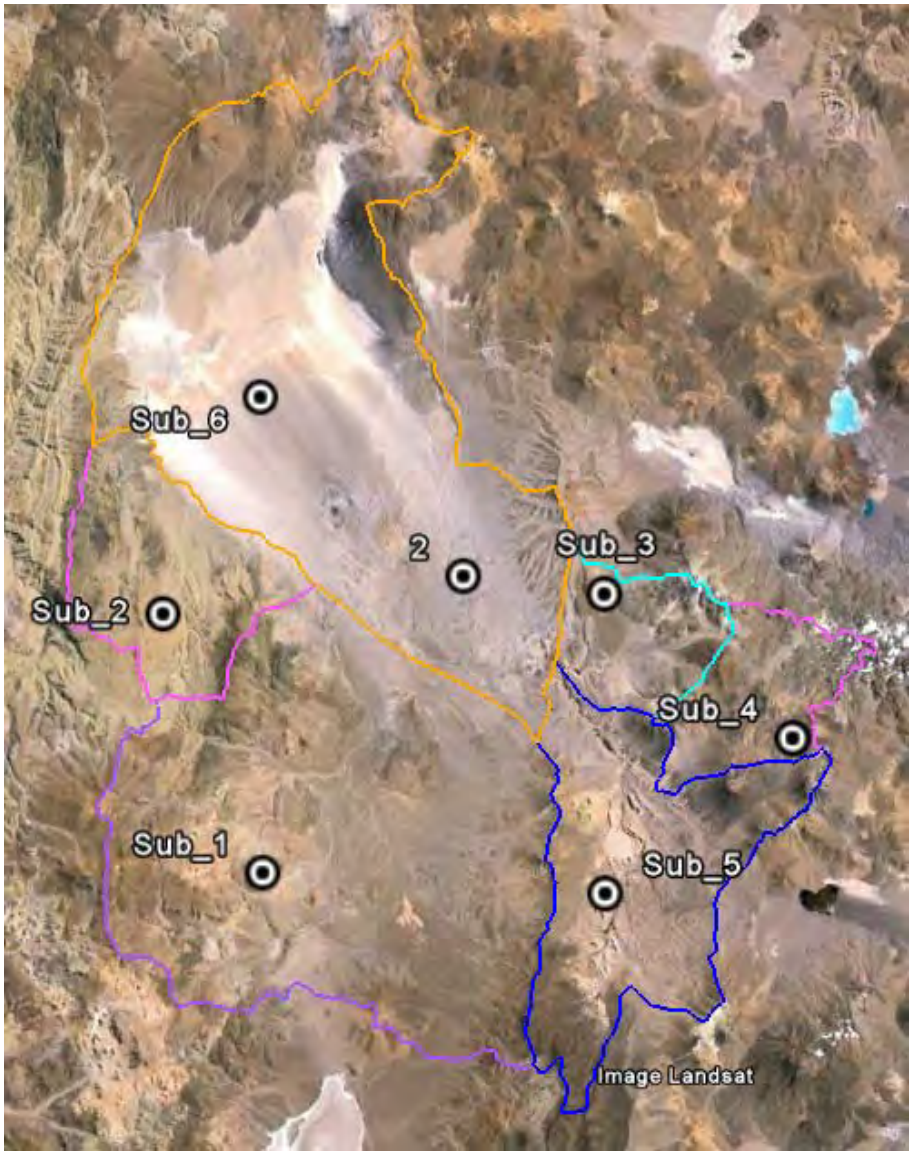
Fuente:Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

FIGURA 12.1-4
CUENCA 6 Y SUS SUBCUENCAS



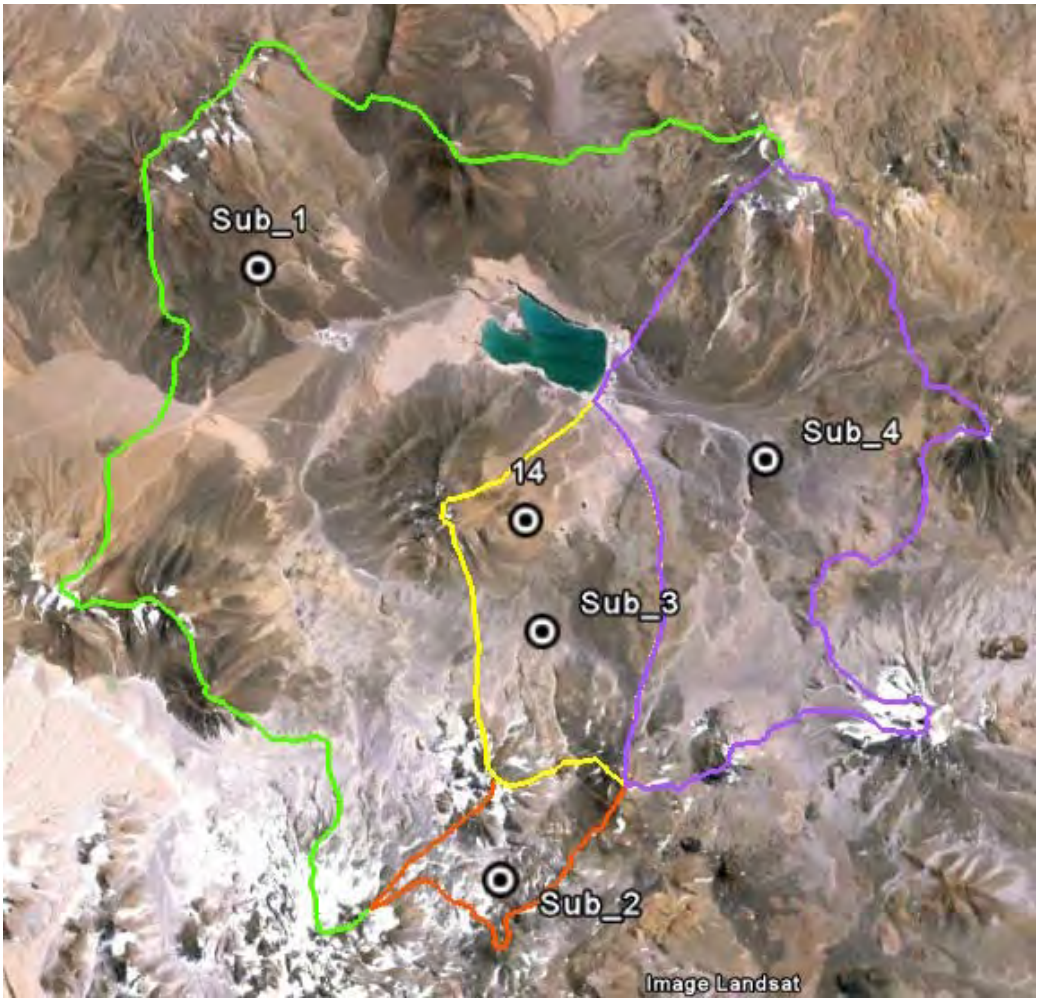
Fuente:Elaboración Propia; Google Earth Pro

FIGURA 12.1-5
CUENCA 2 Y SUS SUBCUENCAS



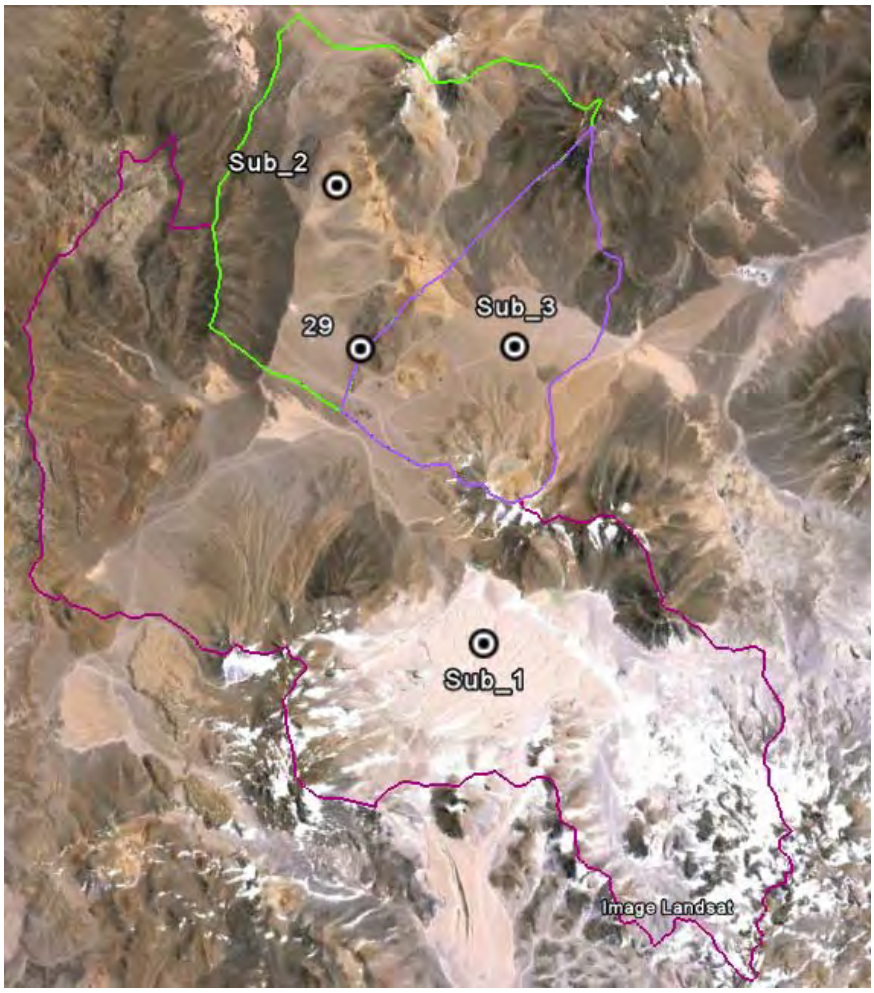
Fuente:Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

FIGURA 12.1-6
CUENCA 14 Y SUS SUBCUENCAS



Fuente:Elaboración Propia; Google Earth Pro

FIGURA 12.1-7
CUENCA 2 Y SUS SUBCUENCAS



Fuente:Elaboración propia; Aquaterra Ing. Ltda.

FIGURA 12.1-8
CUENCA 28 Y SUS SUBCUENCAS



Fuente:Elaboración Propia; Google Earth Pro

FIGURA 12.1-9
CUENCA 29 Y SUS SUBCUENCAS



Fuente:Elaboración Propia; Google Earth Pro

12.1.2. Unidades de Acumulación

Al interior de cada subcuenca se identifican 3 diferentes tipos de zonas de acumulación superficial de agua: lagunas, bofedales y salares. Se determina en cada caso, una superficie de lagunas, una superficie de bofedales y una superficie de salares, con sus respectivas cotas medias, y

se establece una precipitación y una evaporación de tanque mensual para cada unidad, que puede ser calculada indistintamente a través de las isolíneas del Balance Hídrico (Método 1) o a partir de los datos de una estación base y un gradiente de referencia que incorpore la variación de la precipitación o de la evaporación con la diferencia de altura (Método 2).

Estas unidades reciben como aporte una fracción de la escorrrentía superficial, subsuperficial y subterránea de la cuenca, adicionalmente a la precipitación directa sobre ellas. Las salidas de agua corresponden a evaporación o evapotranspiración, y a descargas naturales superficiales, subsuperficiales y subterráneas.

En las lagunas, la evaporación se calcula con la evaporación de tanque y el coeficiente de tanque α = 0,60, obteniéndose así la evaporación potencial Ep.

En los salares, la evaporación se calcula considerando la evaporación potencial anterior, multiplicada por un coeficiente β que considera la profundidad de la napa, y un coeficiente γ que considera la disminución de la evaporación por efecto de la mezcla agua-sal. Para la evaporación desde la napa a una profundidad z se emplea la relación:

$$E = e^{-11,09\,z} \cdot Epot \qquad z < 0,15\ m$$

$$E = 0,065 * Z^{-0,575} \cdot Epot \qquad z > 0,15\ m$$

Para γ se adopta un valor de 0,8. Si se adopta por ejemplo, una napa bastante superficial con z = 0,05 m, la evaporación desde el salar queda Es = 0,8*0,574*Epot = 0,46*Epot.

En los bofedales, la evapotranspiración se calcula considerando la distribución de grupos vegetacionales de un bofedal tipo, y sus coeficientes Kc asociados, presentados en " Estimación de Requerimientos Hídricos de Humedales del Norte de Chile" (DGA, 2001, SIT Nº 96). Este bofedal tipo se presenta en el Cuadro N° 12.1-1.

CUADRO 12.1-1
VALORES DE KC SEGÚN UNIDAD VEGETACIONAL EN BOFEDAL TIPO

Unidad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio	Area (km2)
Cojines	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,467
Transicion 1	0,83	0,80	0,78	0,80	0,80	1,211
Vega 1	0,76	0,69	0,58	0,69	0,68	0,000
Transicion 2	0,60	0,52	0,35	0,52	0,50	0,768
Vega 2	0,50	0,42	0,24	0,42	0,40	0,842

12.1.3. Sistema Superficial, Subsuperficial y Subterráneo

Los sistemas superficial, subsuperficial y subterráneo, existentes en cada subcuenca, están conectados entre sí, de manera que puede haber transferencia de agua desde uno hacia otro. Así por ejemplo, el sistema subterráneo puede alimentar bofedales y lagunas, así como también puede haber traspaso de agua desde salares hacia la napa o hacia la subsuperficie.

En su zona de descarga, estos sistemas también pueden transferir agua hacia cualquier sistema de una subcuenca vecina. Igualmente pueden recibir o entregar agua a sistemas de cuencas aledañas.

Estos caudales transferidos se calculan como un porcentaje del caudal disponible en cada subcuenca, que es un parámetro que debe ser calibrado.

12.1.4. Implementación del Modelo

El modelo fue implementado en una planilla Excel, con hojas de datos y hojas de resultados interrelacionadas entre sí, asociándose una planilla dada a una cuenca dada.

Dentro de la planilla, hay una hoja para cada subcuenca, una hoja para lagunas, una hoja para bofedales y una hoja para salares. En cada una de estas hojas, se realiza un balance hídrico. A su vez, en las subcuencas se realiza un balance hídrico para cada subsistema: superficial, subsuperficial y subterráneo, estableciéndose el caudal de agua transferido entre ellos. También existe una hoja destinada a los cauces, en donde se lleva un registro de las entradas y salidas de agua en cada nodo y tramo del cauce.

Una parte de la escorrentía superficial de cada subcuenca es derivada a nodos específicos del cauce, se extrae agua en otros nodos identificados como bocatomas, y se calculan pérdidas por percolación entre nodos contiguos.

Una de las hojas relevantes dentro de la planilla, es la hoja de calibración, en la que se comparan gráficamente los caudales medios anuales superficiales de los cauces principales, generados por el modelo, con caudales esperados en esos puntos. Estos caudales esperados, idealmente son obtenidos a partir de valores medios anuales de estadísticas observadas en las estaciones fluviométricas existentes, o bien, como sucede en la mayoría de los casos, se obtienen a partir de una relación basada en el coeficiente de escorrentía y el factor de forma indicada en el acápite 12.1.1.

Como hoja de resultado, el modelo genera un balance hídrico para cada subcuenca. En cada balance, se considera como entradas: los aportes superficiales, subsuperficiales y subterráneos desde subcuencas o cuencas vecinas, además de la precipitación sobre la cuenca. Como salida, se considera la evaporación y la evapotranspiración tanto desde el suelo y nieve de la subcuenca como desde las unidades de acumulación, las captaciones de agua superficial, la percolación en cauces y unidades de acumulación, y la escorrentía superficial, subsuperficial y subterránea saliente hacia subcuencas o cuencas vecinas.

El modelo genera además un balance hídrico global de la cuenca, que incluye un balance para el sistema superficial y uno para el sistema subterráneo. Como entradas al sistema, se presentan los caudales medios mensuales provenientes de las precipitaciones, y de eventuales aportes de cuencas vecinas. Como salida está la evaporación en lagunas y salares, la evapotranspiración desde el suelo y bofedales, y la captación desde bocatomas superficiales, y el caudal subterráneo hacia cuencas vecinas.

Debe hacerse notar que el balance hídrico realizado no considera la extracción de agua desde pozos, de manera que este caudal subterráneo hacia cuencas vecinas es un flujo con napa no explotada y permite establecer una referencia para el valor máximo del total de agua subterránea que se puede extraer dentro de la cuenca.

Con respecto a la conexión de acuíferos de cuencas adyacentes, en la modelación se consideró la probable conexión entre los acuíferos de la cuenca del Negro Francisco y la cuenca de Maricunga, de manera que uno de los resultados del balance en la cuenca del Negro Francisco,

corresponde al caudal subterráneo saliente desde la subcuenca 1 hacia el acuífero de Maricunga. Por otra parte, en Pedernales, debe tenerse en cuenta que, del total de agua subterránea descargada desde esta cuenca hacia cuencas vecinas, una parte descarga a través del dren existente hacia el río Salado.

12.2. Calibración del Modelo

A nivel de escorrentía superficial, la calibración del Modelo se refiere fundamentalmente a establecer el valor de la proporción del agua superficial disponible en cada subcuenca, que es transferida hacia los cauces superficiales, hacia las unidades de acumulación, o que percola hacia la napa. El agua disponible en superficie se calcula descontándole al agua precipitada, la evaporación desde nieve y la evapotranspiración desde el suelo de la subcuenca.

Otro parámetro de calibración importante dentro de la escorrentía superficial se refiere a la percolación por unidad de longitud en los cauces superficiales. En este sentido, y como se modela un único cauce superficial por subcuenca, la percolación en cada tramo de río, se calcula multiplicando un parámetro p (%/km), por el caudal entrante y por la longitud del tramo, pudiendo este parámetro variar entre cauces distintos.

A nivel de escorrentía subterránea, la calibración apunta a determinar la proporción de agua destinada a lagunas, bofedales y salares existentes en cada subcuenca, y a subcuencas o cuencas ubicadas aguas abajo.

En los Cuadros 12.2-1 y 12.2-2 se presentan los parámetros calibrados para la escorrentía superficial y subterránea, por cuencas y subcuencas.

CUADRO 12.2-1
VALORES DE PARAMETROS RELEVANTES AJUSTADOS POR CUENCA Y SUBCUENCAS. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (*)

Cuenca	Subcuenca	Distribución Agua Superficial Zona Permeable (%)			Distribución Agua Superficial Zona Impermeable (%)			Percolación (%/km)
		Cauce	Napa	Disponible en Superficie	Cauce	A Napa en Borde Zona Permeable	Disponible en Superficie Zona Permeable	
1	1	60	40	0	60	40	0	1,0
	2	30	70	0	30	70	0	1,0
	3	30	70	0	30	70	0	1,0
	4	30	70	0	30	70	0	1,0
	5	30	70	0	30	70	0	1,0
	6	30	70	0	30	70	0	1,0
	7	30	70	0	30	70	0	1,0
2	1	60	40	0	30	70	0	2,3
	2	60	40	0	30	70	0	2,3
	3	60	40	0	30	70	0	2,3
	4	60	40	0	30	70	0	2,3
	5	60	40	0	30	70	0	2,3
	6	60	40	0	30	70	0	2,3
6	1	20	80	0	0	40	60	2,0
	2	20	80	0	0	40	60	2,0
	3	20	80	0	20	20	60	2,0
14	1	40	30	30	50	50	0	1,0
	2	40	30	30	50	50	0	1,0
	3	40	30	30	50	50	0	1,0
	4	40	30	30	50	50	0	1,0
28	1	60	40	0	40	60	0	1,0
	2	60	40	0	40	60	0	1,0
	3	60	40	0	40	60	0	1,0
	4	60	40	0	50	50	0	1,0
	5	60	40	0	50	50	0	1,0
	6	60	40	0	50	50	0	1,0
	7	60	40	0	50	50	0	1,0
	8	60	40	0	50	50	0	1,0
	9	60	40	0	50	50	0	1,0
	10	60	40	0	50	50	0	1,0
29	1	30	70	0	50	50	0	2,0
	2	30	70	0	50	50	0	2,0
	3	30	70	0	50	50	0	2,0
32	1	60	40	0	20	80	0	1,0
	2	60	40	0	40	60	0	1,0
	3	60	40	0	40	60	0	1,0
	4	60	40	0	40	60	0	1,0
	5	60	40	0	40	60	0	1,0
	6	60	40	0	40	60	0	1,0
	7	20	40	40	20	80	0	1,0
33	1	10	90	0	10	0	90	5,0
	2	10	90	0	10	0	90	5,0
	3	10	90	0	10	0	90	5,0
	4	10	90	0	10	0	90	5,0
	5	10	90	0	10	0	90	5,0
	6	10	90	0	10	0	90	5,0
34	1	5	40	55	35	25	40	1,0
	2	5	40	55	5	45	50	1,0
	3	5	40	55	10	50	40	1,0

(*) Precipitación y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico DGA (1987)

CUADRO 12.2-2
VALORES DE PARAMETROS RELEVANTES AJUSTADOS POR CUENCA Y SUBCUENCAS. ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA (*)

Cuenca	Subcuenca	Distribución Agua Subterránea (%)				
		Cuenca Aguas Abajo	Subcuenca Aguas Abajo	Lagunas en la Subcuenca	Bofedales en la Subcuenca	Salares en la Subcuenca
1	1	40	60	0,000	0,000	0,000
	2	0	40	5,000	55,000	0,000
	3	0	40	0,000	60,000	0,000
	4	0	40	0,000	60,000	0,000
	5	0	100	0,000	0,000	0,000
	6	0	100	0,000	0,000	0,000
	7	0	40	0,000	60,000	0,000
2	1	0	40	0,000	60,000	0,000
	2	0	40	0,000	60,000	0,000
	3	0	100	0,000	0,000	0,000
	4	0	100	0,000	0,000	0,000
	5	0	40	0,000	60,000	0,000
	6	0	40	0,013	0,310	59,677
6	1	0	100	0,000	0,000	0,000
	2	0	90	0,000	10,000	0,000
	3	0	97	3,000	0,000	0,000
14	1	0	80	18,000	2,000	0,000
	2	0	80	0,000	0,000	20,000
	3	0	100	0,000	0,000	0,000
	4	0	100	0,000	0,000	0,000
28	1	0	85	0,000	15,000	0,000
	2	0	85	0,000	15,000	0,000
	3	0	85	0,000	15,000	0,000
	4	0	85	0,000	15,000	0,000
	5	0	85	0,000	15,000	0,000
	6	0	0	4,500	2,521	92,979
	7	0	100	0,000	0,000	0,000
	8	0	85	0,000	15,000	0,000
	9	0	100	0,000	0,000	0,000
	10	0	85	0,000	15,000	0,000
29	1	0	100	0,000	0,000	0,000
	2	0	70	0,000	15,000	15,000
	3	0	100	0,000	0,000	0,000
32	1	0	80	0,600	19,400	0,000
	2	0	40	0,000	0,000	60,000
	3	0	40	0,942	0,000	59,058
	4	0	100	0,000	0,000	0,000
	5	0	100	0,000	0,000	0,000
	6	0	100	0,000	0,000	0,000
	7	0	100	0,000	0,000	0,000
33	1	0	100	0,000	0,000	0,000
	2	0	100	0,000	0,000	0,000
	3	0	100	0,000	0,000	0,000
	4	0	50	0,000	0,000	50,000
	5	0	100	0,000	0,000	0,000
	6	0	100	0,000	0,000	0,000
34	1	0	100	0,000	0,000	0,000
	2	0	70	0,000	30,000	0,000
	3	0	70	1,424	0,000	28,576

(*) Precipitación y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico DGA (1987)

Debe señalarse que el valor de los parámetros calibrados varía según si los datos pluviométricos y evaporimétricos, provienen de las isolíneas del Balance Hídrico de Chile (Método 1) o se calculan a partir de una estación base y el gradiente respectivo (Método 2). En el Anexo 12-2 se presenta el valor de estos parámetros según ambos métodos.

Como datos de entrada fijos, que igualmente podrían ser sujeto de ajustes en futuros balances, se consideran:

El coeficiente de Tanque = 0,60
El coeficiente de Evaporación Nival= 0,50 (factor que multiplica la Evapotranspiración Potencial, para obtener la evaporación desde superficies nivales).
El coeficiente de Evaporación desde Salares= 0,46 (factor que multiplica la Evapotranspiración Potencial, para obtener la evaporación desde salares).
El coeficiente de cultivo Kc asociado a bofedales= 0,785 (obtenido como el promedio ponderado de los Kc de un Bofedal Tipo, Cuadro 12.1-1)
El gradiente pluviométrico anual= 1 mm/ 100 m (SIT Nº 195, Parte X, pág 149). En este caso, si bien en la referencia indicada se señala que este gradiente es válido para alturas inferiores a 2200 msnm, se propone utilizar este mismo gradiente para alturas superiores, ya que no existe suficiente información para establecer su valor.
El gradiente de evaporación de tanque anual= -93,3 mm / 100 m, para alturas superiores a 3000 m.s.n.m, y cero entre cotas comprendidas entre 1100 y 3000 m.s.n.m. (SIT Nº 195, Parte X, pág 165)

Como resultado de la calibración, para cada cuenca se generaron gráficos comparativos entre caudales medios anuales superficiales, modelados y esperados, para la situación de parámetros finalmente adoptados.

En la Figura 12.2-10 a 12.2-18 se presentan los gráficos obtenidos en cada cuenca priorizada, considerando las isolíneas pluviométricas y evaporimétricas del Balance Hídrico de Chile (Método 1), y en el Anexo 12-3 se presentan las figuras de calibración, en donde se comparan los caudales medios anuales superficiales modelados con los caudales observados o estimados, considerando tanto el Método 1 como el método de la estación base y el gradiente (Método 2).

FIGURA 12.2-10
CALIBRACIÓN CUENCA Nº 32. SALAR DE GORBEA
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

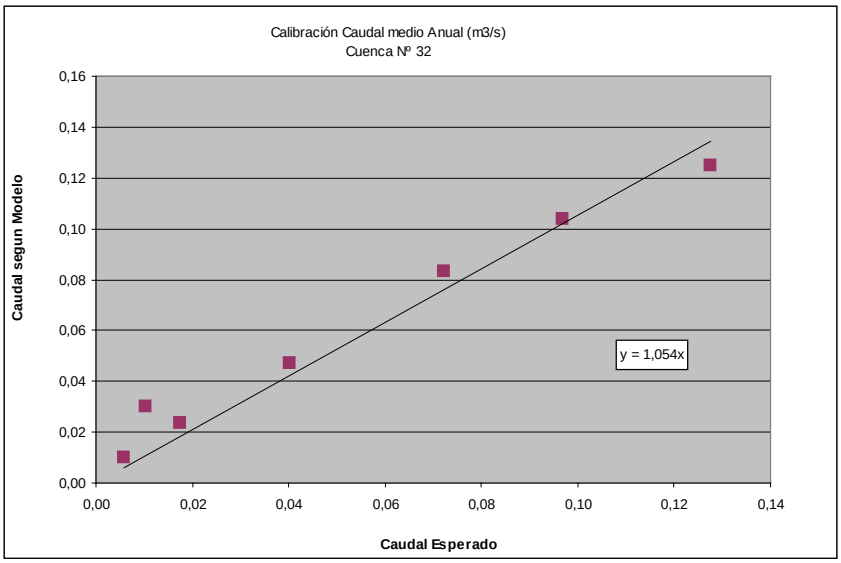


FIGURA 12.2-11
CALIBRACIÓN CUENCA Nº 33. SALAR DE LA AZUFRERA
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

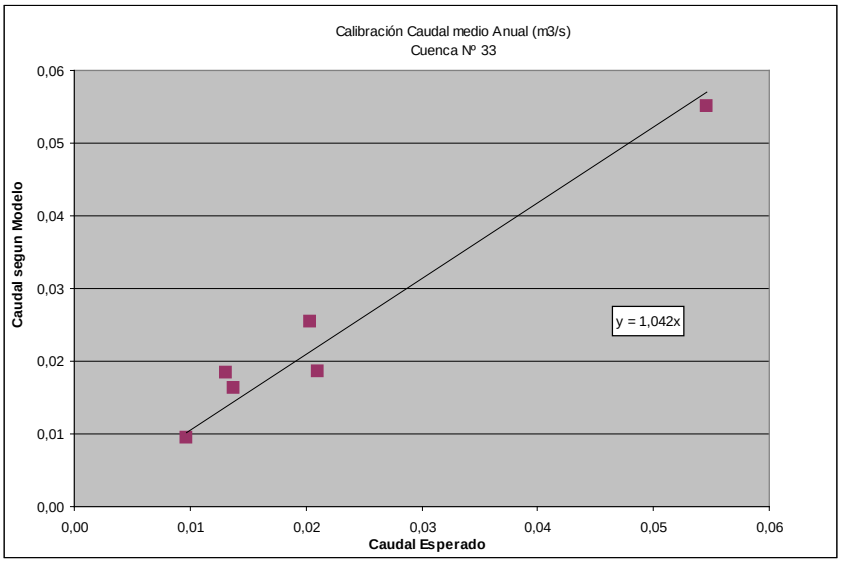


FIGURA 12.2-12
CALIBRACIÓN CUENCA Nº 34. SALAR DE AGUA AMARGA
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

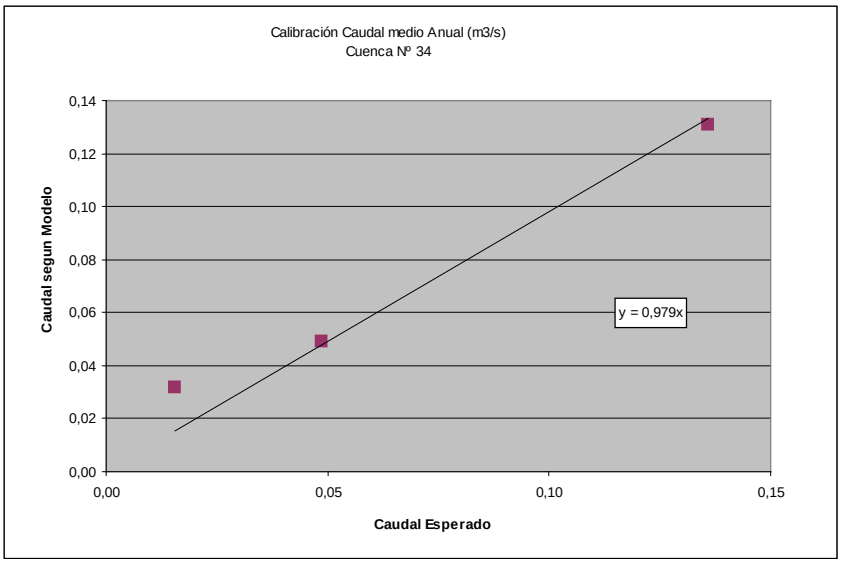


FIGURA 12.2-13
CALIBRACIÓN CUENCA Nº 6. LA LAGUNA
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

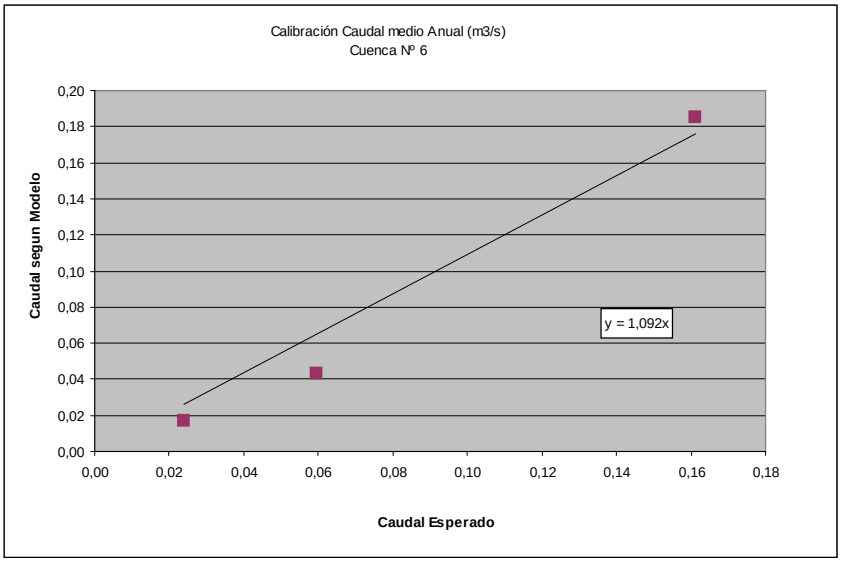


FIGURA 12.2-14
CALIBRACIÓN CUENCA Nº 2. SALAR DE PEDERNALES
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

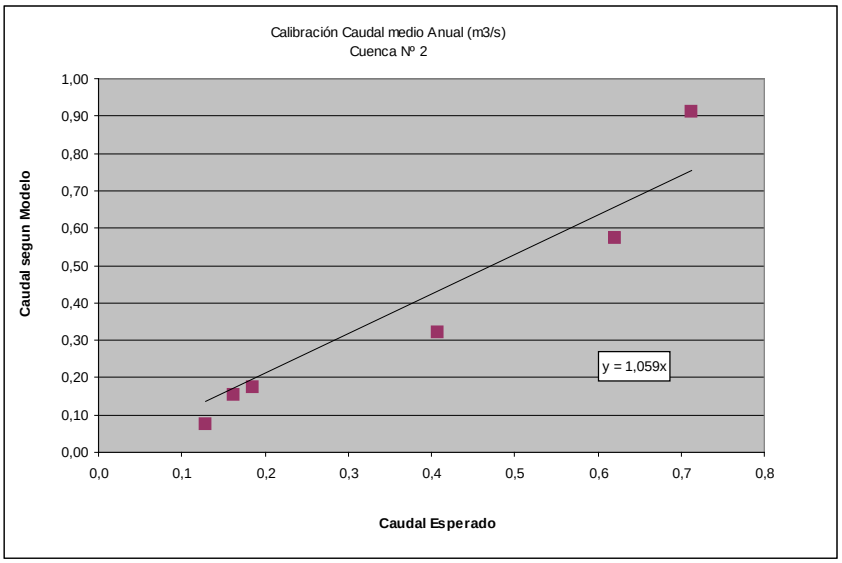


FIGURA 12.2-15
CALIBRACIÓN CUENCA Nº 28. SALAR DE MARICUNGA
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

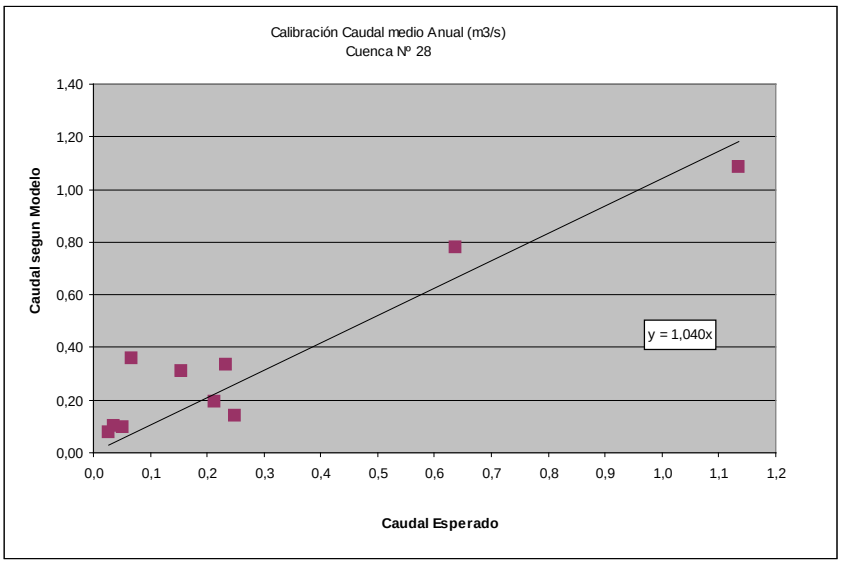


FIGURA 12.2-16
CALIBRACIÓN CUENCA Nº 29. PIEDRA PÓMEZ
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

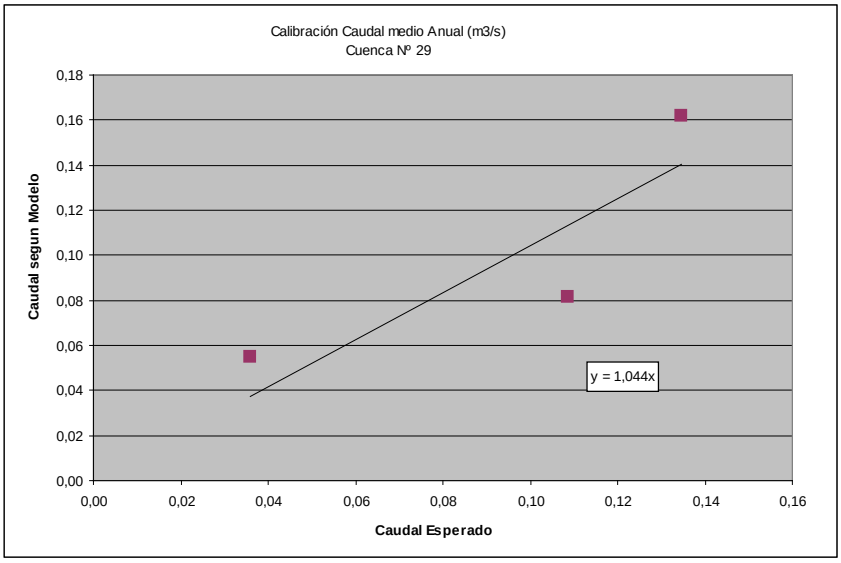


FIGURA 12.2-17
CALIBRACIÓN CUENCA Nº 14. LAGUNA VERDE
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

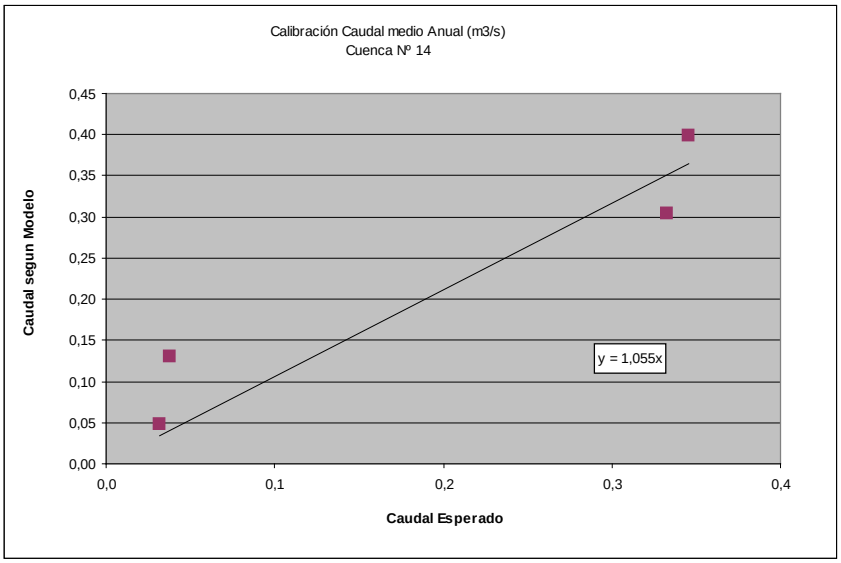
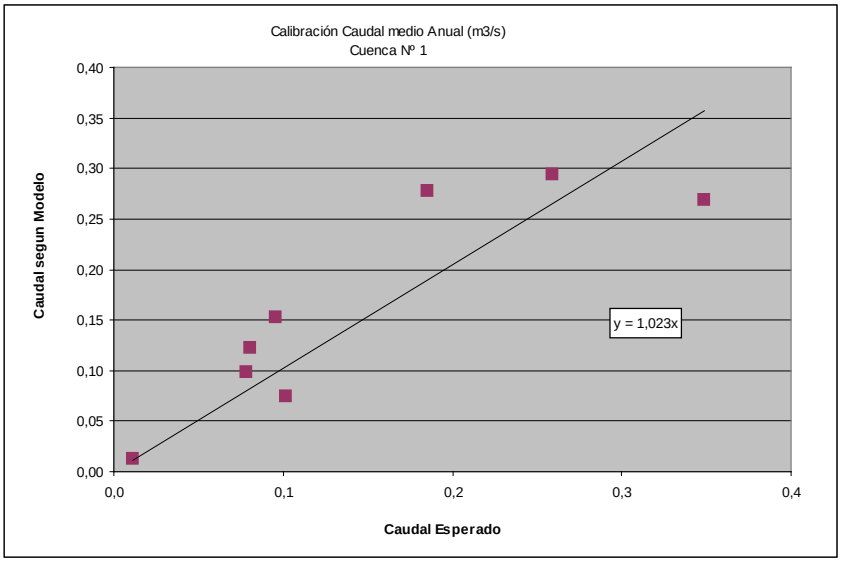


FIGURA 12.2-18
CALIBRACIÓN CUENCA Nº 1. LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)



12.3. Resultados de la Modelación

Como se señaló anteriormente se generaron los balances hídricos para los sistemas superficial, subterráneo y global en cada cuenca, considerando los datos pluviométricos y evaporimétricos del Balance Hídrico (Método 1) y los generados mediante una estación base y los gradientes de precipitación y evaporación de tanque, respectivamente (Método 2).

De acuerdo a los resultados obtenidos, el balance hídrico realizado genera escorrentía subterránea de salida en las 9 cuencas analizadas, todas ellas superficialmente endorreicas. En el Cuadro 12.3-1 se presentan estos caudales, según ambos métodos, y se les compara con los caudales de explotación existente. En tanto, en los Cuadros 12.3-2 a 12.3-10 se presenta el resumen de los balances hídricos en cada cuenca, considerando el Método 1. En las Figuras 12.2-19 a 12.2-27 se consigna el sentido de flujos entre subcuencas al interior de cada cuenca.

Por otra parte, en el Anexo 12-4 se presenta un detalle de los balances por cuenca y subcuenca, en el Anexo 12-5 el resumen de estos balances, y en el Anexo 12-6 el balance global, superficial y subterráneo de cada cuenca, considerando ambos métodos. Finalmente, en el Anexo 12-7 se entrega un Manual de Uso del modelo.

CUADRO 12.3-1
CAUDALES DE EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA DE SALIDA Y BOMBEO EXISTENTE EN CADA CUENCA

Nº Cuenca Priorizada	Nombre	Caudal Subterráneo de Salida (l/s)		Caudal Bombeo Subterráneo existente (l/s)
		Método 1	Método 2	
32	Salar de Gorbea	1070,6	139,0	125,0
33	Salar de la Azufrera	791,3	213,9	240,6
34	Salar de Agua Amarga	1101,2	152,2	32,5
6	La Laguna	1055,3	396,6	417,0
2	Salar de Pedernales	9730,7	1066,1	849,3
28	Salar de Maricunga	4947,4	1745,7	1321,0
29	Piedra Pómez	1117,6	378,2	1237,6
14	Laguna Verde	2009,1	347,9	0,0
1	Laguna del Negro Francisco	2389,9	1116,0	0,0
	TOTAL	24213,1	5555,6	4223,0

(*) Caudal Subterráneo Salida no considera bombeo al interior de la cuenca.
Método 1: Isolíneas de Precipitación y Evaporación según Balance Hídrico
Método 2: Precipitación y Evaporación de Tanque calculadas con Estación Base y Gradiente Pluviométrico y Evaporimétrico.

CUADRO 12.3-2
Balance Hídrico del Caudal Medio Anual
CUENCA Nº 32. SALAR DE GORBEA
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

Entrada	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Desde Otras cuencas	0,0	0,0
Precipitación	2321,3	100,0
Total	2321,3	100,0
Salida	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Evaporación subcuencas	697,0	30,0
Evaporación Lagunas	13,0	0,6
Evaporación Salares	240,6	10,4
Evapotranspiración Bofedales	0,6	0,0
Evapotranspiración suelo	297,1	12,8
Captaciones Superficiales	2,5	0,1
Escorrentía Superficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subsuperficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subterránea Salida	1070,6	46,1
Total	2321,3	100,0

FIGURA 12.2-19
FLUJOS CUENCA Nº 32. SALAR DE GORBEA



CUADRO 12.3-3
Balance Hídrico del Caudal Medio Anual
CUENCA Nº 33. SALAR DE LA AZUFRERA
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

Entrada	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Desde Otras cuencas	0,0	0,0
Precipitación	1042,9	100,0
Total	1042,9	100,0
Salida	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Evaporación subcuencas	136,9	13,1
Evaporación Lagunas	0,0	0,0
Evaporación Salares	58,7	5,6
Evapotranspiración Bofedales	0,0	0,0
Evapotranspiración suelo	56,0	5,4
Captaciones Superficiales	0,0	0,0
Escorrentía Superficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subsuperficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subterránea Salida	791,3	75,9
Total	1042,9	100,0

FIGURA 12.2-20
FLUJOS CUENCA Nº 33. SALAR DE LA AZUFRERA



CUADRO 12.3-4
Balance Hídrico del Caudal Medio Anual
CUENCA Nº 34. SALAR DE AGUA AMARGA
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

Entrada	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Desde Otras cuencas	0,0	0,0
Precipitación	2162,4	100,0
Total	2162,4	100,0
Salida	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Evaporación subcuencas	305,9	14,1
Evaporación Lagunas	19,2	0,9
Evaporación Salares	165,3	7,6
Evapotranspiración Bofedales	0,0	0,0
Evapotranspiración suelo	569,5	26,3
Captaciones Superficiales	1,2	0,1
Escorrentía Superficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subsuperficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subterránea Salida	1101,2	50,9
Total	2162,4	100,0

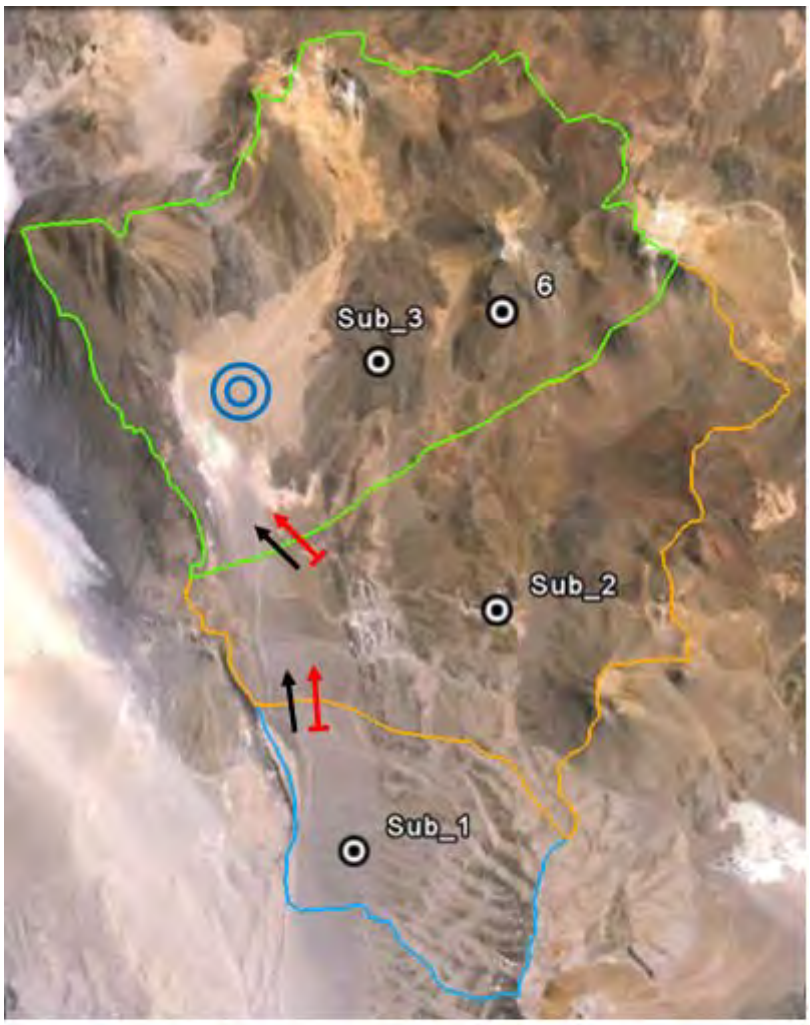
FIGURA 12.2-21
FLUJOS CUENCA Nº 34. SALAR DE AGUA AMARGA



CUADRO 12.3-5
Balance Hídrico del Caudal Medio Anual
CUENCA Nº 6. LA LAGUNA
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

Entrada	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Desde Otras cuencas	0,0	0,0
Precipitación	2223,8	100,0
Total	2223,8	100,0
Salida	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Evaporación subcuencas	522,8	23,5
Evaporación Lagunas	32,1	1,4
Evaporación Salares	0,0	0,0
Evapotranspiración Bofedales	1,8	0,1
Evapotranspiración suelo	611,8	27,5
Captaciones Superficiales	0,0	0,0
Escorrentía Superficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subsuperficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subterránea Salida	1055,3	47,5
Total	2223,8	100,0

FIGURA 12.2-22
FLUJOS CUENCA Nº 6. LA LAGUNA

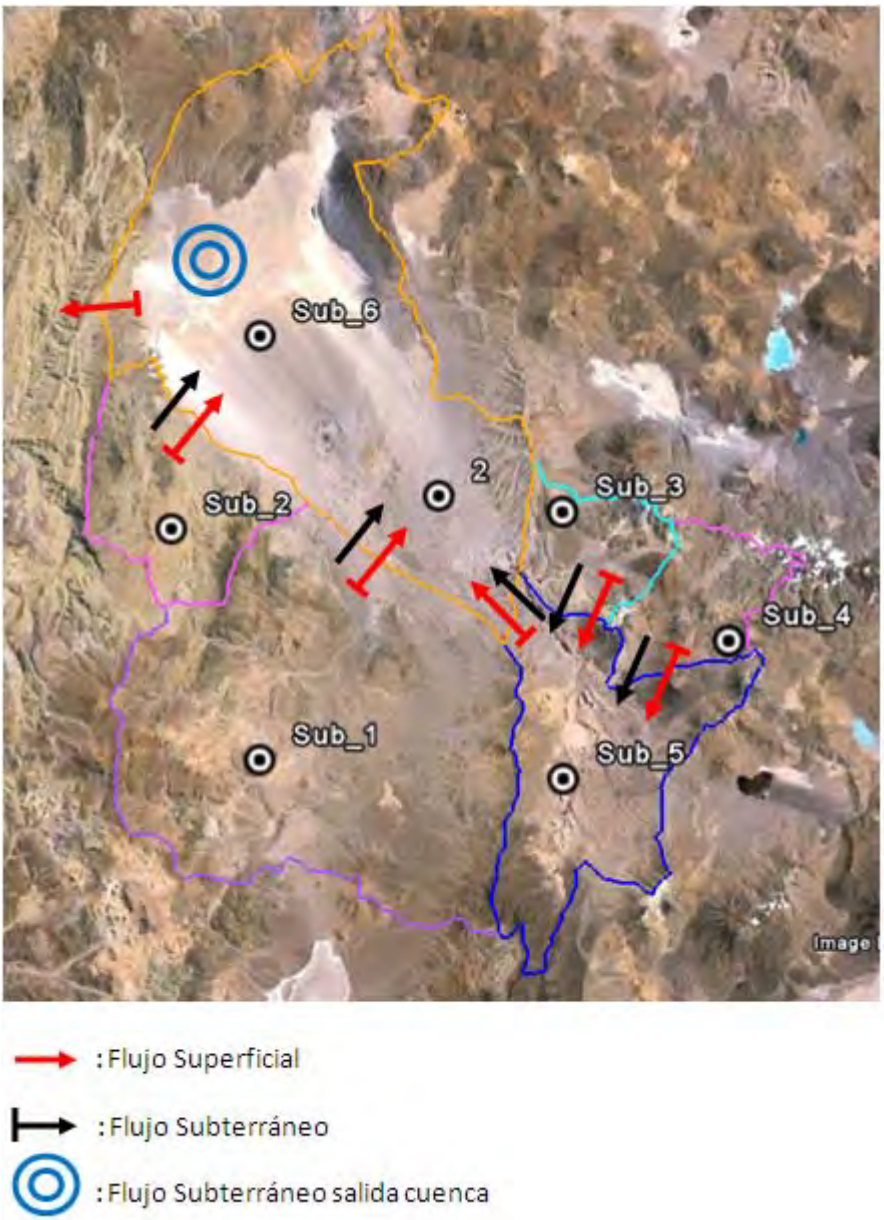


CUADRO 12.3-6
Balance Hídrico del Caudal Medio Anual
CUENCA Nº 2. SALAR DE PEDERNALES
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

Entrada	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Desde Otras cuencas	0,0	0,0
Precipitación	18444,3	100,0
Total	18444,3	100,0
Salida	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Evaporación subcuencas	2595,4	14,1
Evaporación Lagunas	1,6	0,0
Evaporación Salares	2976,0	16,1
Evapotranspiración Bofedales	110,7	0,6
Evapotranspiración suelo	3029,9	16,4
Captaciones Superficiales	0,0	0,0
Escorrentía Superficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subsuperficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subterránea Salida	9730,7	52,8
Total	18444,3	100,0

(*) Escorrentía Subterránea de Salida incluye descarga a través del dren existente a Río Salado.

FIGURA 12.2-23
FLUJOS CUENCA N° 2. SALAR DE PEDERNALES

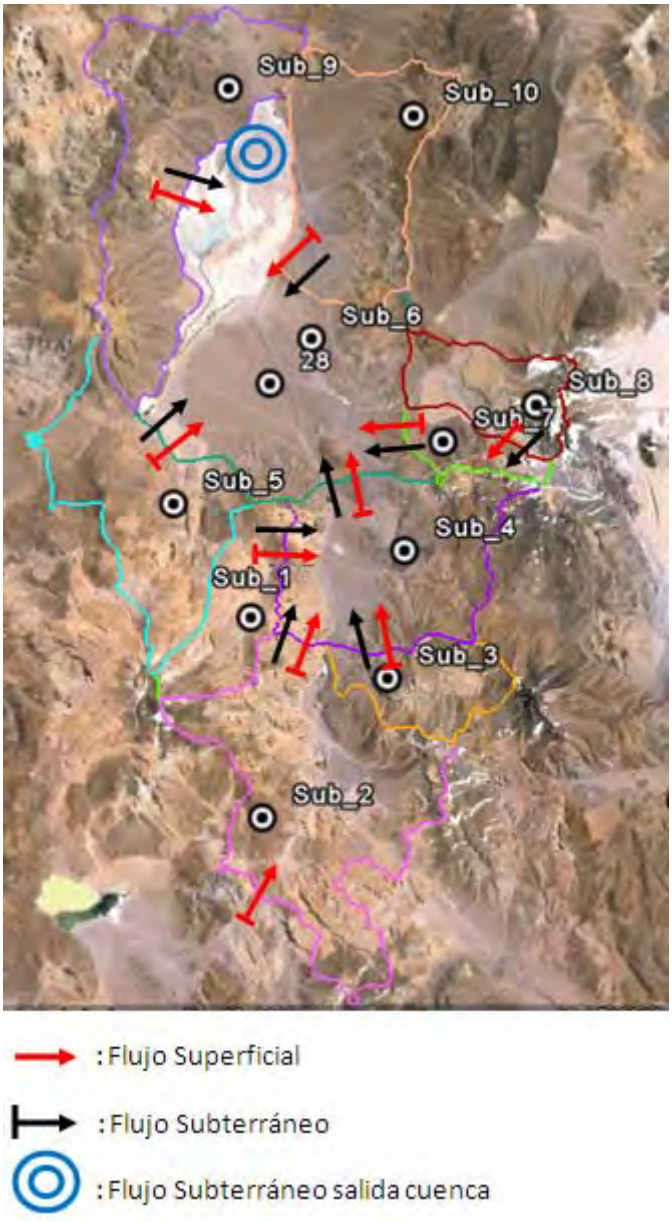


CUADRO 12.3-7
Balance Hídrico del Caudal Medio Anual
CUENCA Nº 28. SALAR DE MARICUNGA
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

Entrada	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Desde Otras cuencas	89,5	0,7
Precipitación	12781,8	99,3
Total	12871,3	100,0
Salida	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Evaporación subcuencas	3198,7	24,9
Evaporación Lagunas	177,3	1,4
Evaporación Salares	1114,9	8,7
Evapotranspiración Bofedales	95,1	0,7
Evapotranspiración suelo	3300,1	25,6
Captaciones Superficiales	37,7	0,3
Escorrentía Superficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subsuperficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subterránea Salida	4947,4	38,4
Total	12871,3	100,0

Nota: Se ha considerado caudal subterráneo de entrada proveniente de Cuenca del Negro Francisco.

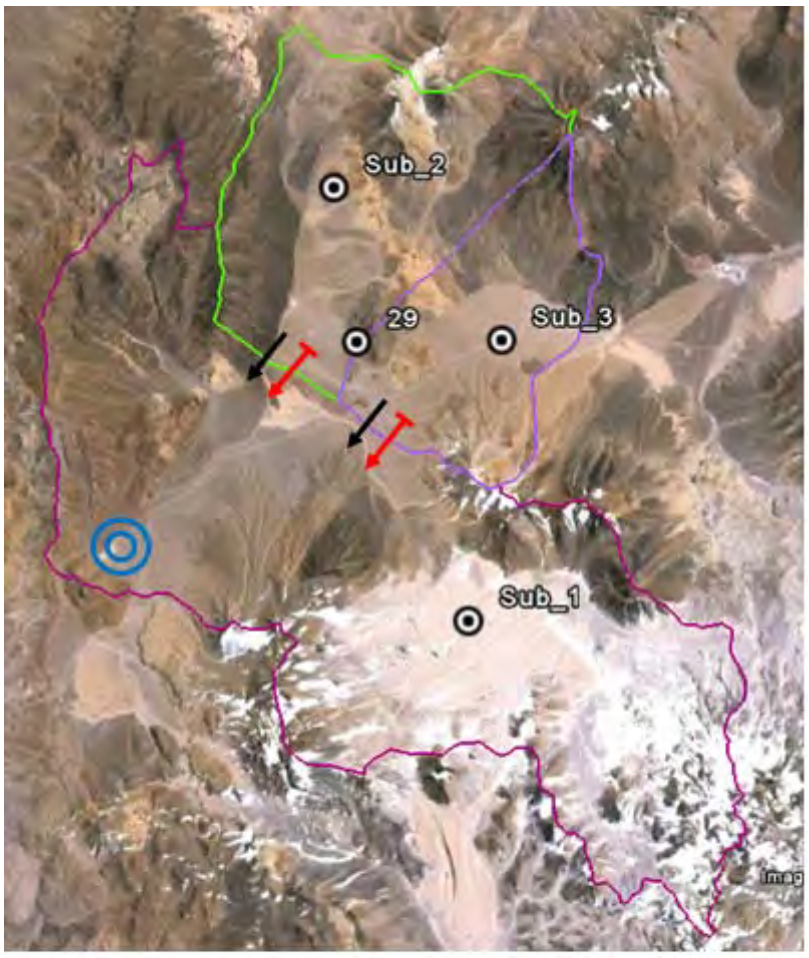
FIGURA 12.2-24
FLUJOS CUENCA Nº 28. SALAR DE MARICUNCA



CUADRO 12.3-8
Balance Hídrico del Caudal Medio Anual
CUENCA Nº 29. PIEDRA PÓMEZ
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

Entrada	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Desde Otras cuencas	0,0	0,0
Precipitación	4552,1	100,0
Total	4552,1	100,0
Salida	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Evaporación subcuencas	2755,0	60,5
Evaporación Lagunas	0,0	0,0
Evaporación Salares	0,0	0,0
Evapotranspiración Bofedales	0,0	0,0
Evapotranspiración suelo	679,5	14,9
Captaciones Superficiales	0,0	0,0
Escorrentía Superficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subsuperficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subterránea Salida	1117,6	24,6
Total	4552,1	100,0

FIGURA 12.2-25
FLUJOS CUENCA Nº 29. PIEDRA PÓMEZ



CUADRO 12.3-9
Balance Hídrico del Caudal Medio Anual
CUENCA Nº 14. LAGUNA VERDE
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

Entrada	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Desde Otras cuencas	0,0	0,0
Precipitación	6000,3	100,0
Total	6000,3	100,0
Salida	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Evaporación subcuencas	3152,4	52,5
Evaporación Lagunas	373,4	6,2
Evaporación Salares	0,0	0,0
Evapotranspiración Bofedales	4,7	0,1
Evapotranspiración suelo	323,8	5,4
Captaciones Superficiales	136,9	2,3
Escorrentía Superficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subsuperficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subterránea Salida	2009,1	33,5
Total	6000,3	100,0

FIGURA 12.2-26
FLUJOS CUENCA Nº 14. LAGUNA VERDE

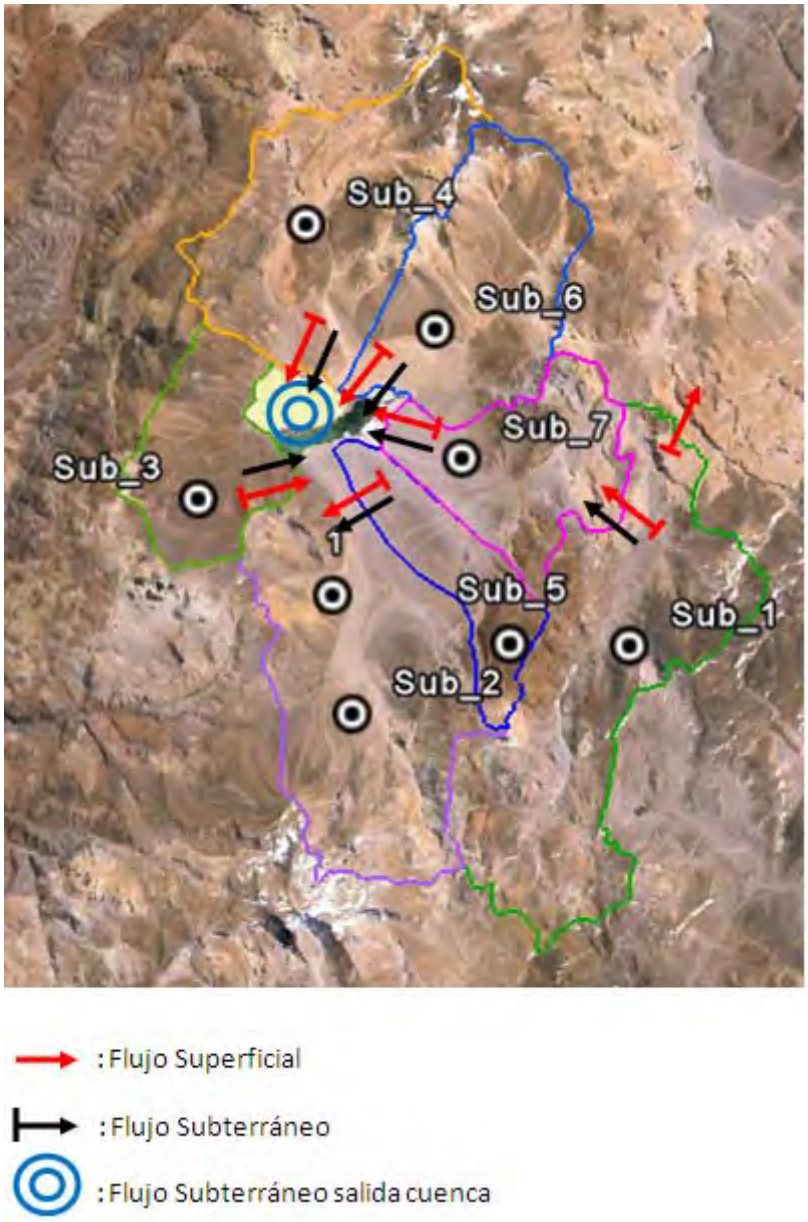


CUADRO 12.3-10
Balance Hídrico del Caudal Medio Anual
CUENCA Nº 1. LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO
(Isoyetas y Evaporación de Tanque según Balance Hídrico)

Entrada	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Desde Otras cuencas	0,0	0,0
Precipitación	5823,3	100,0
Total	5823,3	100,0
Salida	**Caudal**	
	(l/s)	**(%)**
Evaporación subcuencas	2288,0	39,3
Evaporación Lagunas	121,1	2,1
Evaporación Salares	0,0	0,0
Evapotranspiración Bofedales	122,8	2,1
Evapotranspiración suelo	901,4	15,5
Captaciones Superficiales	0,0	0,0
Escorrentía Superficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subsuperficial Salida	0,0	0,0
Escorrentía Subterránea Salida	2389,9	41,0
Total	5823,3	100,0

Nota: Se ha considerado caudal subterráneo saliente desde Cuenca del Negro Francisco hacia Cuenca de Maricunga. Este caudal está incluido en la escorrentía subterránea de salida.

FIGURA 12.2-27
FLUJOS CUENCA N° 1. LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO



12.4. Análisis de Resultados

A partir de los resultados generados se puede establecer el siguiente análisis:

- Si bien, en términos de lámina de agua, la precipitación anual es muy inferior a la evaporación de tanque, la precipitación se produce en toda la superficie de cada subcuenca, en cambio, la evaporación no. Esto debido a que mientras llueve, el nivel de saturación del aire es muy alto, lo que se traduce en una evaporación prácticamente nula durante ese evento. En consecuencia, mientras precipita, prácticamente toda el agua que cae sobre áreas no permeables bajo la isoterma cero, especialmente en las zonas de montaña, escurre superficialmente hacia las zonas bajas, y solo cuando deja de llover y el agua se encuentra en relleno permeable, se produce evaporación. Esta diferencia importante entre las superficies expuestas a precipitación y superficies evaporantes o evapotranspirantes, se traduce en una importante diferencia entre caudales de precipitación y caudales de evaporación.

- El balance hídrico realizado permite establecer que en todas las cuencas existen caudales subterráneos salientes. Considerando que este balance refleja un comportamiento medio del sistema a través de los años, y dado que en el pasado estos acuíferos no fueron explotados, se debe concluir que cada cuenca debe tener algún sistema de descarga subterránea hacia una cuenca vecina, a partir de un cierto umbral de almacenamiento. De lo contrario, en la actualidad, todas las cuencas endorreicas estudiadas, se encontrarían sobrepasadas en su almacenamiento máximo.

- Los caudales subterráneos salientes en cada cuenca, dependen entre otras muchas variables, de los caudales de entrada desde otras cuencas. Considerando la falta de antecedentes disponibles respecto a la conexión de cuencas y los caudales de agua traspasados entre ellas, los caudales subterráneos salientes aquí determinados deberán ser recalculados cuando se disponga de más antecedentes de estos caudales de transferencia. Naturalmente, si en una cuenca dada se está suponiendo que no hay aporte de aguas subterráneas desde una cuenca vecina, es esperable que el caudal de salida así calculado, sea menor al que se produce si efectivamente se comprueba la existencia de estos aportes.

- Existe una importante diferencia entre las precipitaciones y evaporaciones calculadas según las isolíneas del Balance Hídrico y según el gradiente de precipitaciones y evaporación de tanque a partir de una Estación Base. Si se compara, los datos calculados con las isolíneas del

Balance Hídrico o calculados con el método del gradiente, las precipitaciones del primero resultan muy superiores a las del segundo, y las evaporaciones del primero inferiores a las del segundo. Esto se traduce en una gran diferencia en los resultados de los caudales subterráneos de salida en cada cuenca, siendo muy superiores los determinados con los datos del Balance Hídrico.

- Con relación a lo señalado en el párrafo anterior, es necesario reafirmar la importancia que tiene en el cálculo de los balances hídricos, los datos hidrometeorológicos utilizados, particularmente las precipitaciones y la evaporación de tanque, de manera que es relevante realizar todos los esfuerzos posibles para acumular información confiable en este sentido, instalando nuevas y mejores estaciones de medición. Igualmente es necesario establecer con mayor precisión, en qué superficies ocurre evapotranspiración de importancia, y en cuáles no. Esto debido a que la superficie evapotranspirante es un dato que también tiene gran importancia en la modelación.

13. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

13.1. Introducción

En el presente capítulo se entrega en detalle la estructura del Sistema de Información Geográfica (SIG) desarrollado e implementado para este estudio.

La presente implementación se constituye para la DGA-MOP en una herramienta que, principalmente, facilita la visualización, consulta y procesamiento de los datos y resultados obtenidos en el estudio.

Es importante señalar que la presente implementación sólo consideró el ordenamiento y sistematización de la información generada en el estudio, mediante el desarrollo de proyectos en la plataforma ArcGIS 9.3 de ESRI.

A continuación se presenta en detalle una descripción de la información que conforma la presente implementación SIG.

13.2. Plataforma Computacional

Mediante la elaboración de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se facilitan las labores de recolección, análisis, gestión y representación de datos espaciales.

La representación de la información recopilada se muestra en una serie de capas temáticas, con lo cual es posible realizar un análisis de los datos obtenidos.

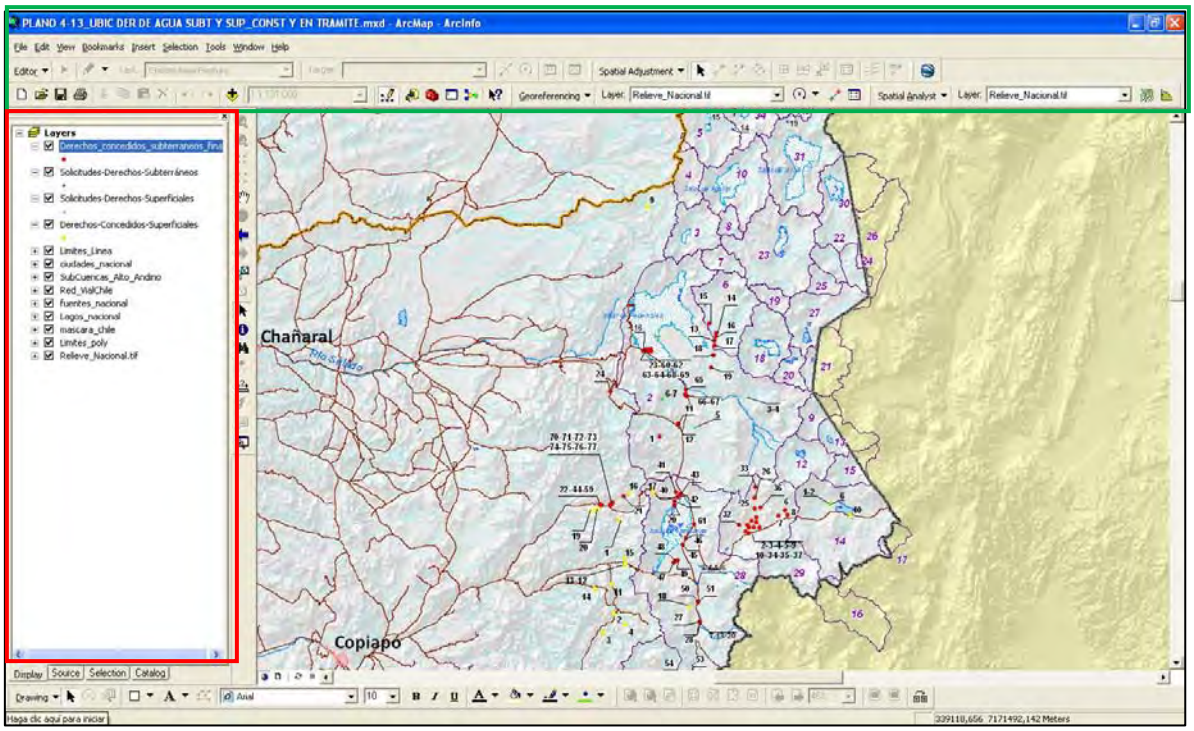
De esta forma, el SIG funciona como una base de datos con información geográfica, la cual se encuentra asociada a través de un identificador común a la información representada gráficamente en un mapa digital. Por lo tanto, se pueden conocer los atributos de un tema, seleccionándolo y realizando una consulta, como también, realizar una pregunta directamente en la base de datos.

Para la elaboración del Sistema de Información Geográfica implementado en el presente estudio se ha utilizado el Software ArcGIS 9.3, desarrollado por la empresa ESRI.

La extensión de cada proyecto es *.mxd, y puede ser abierto desde el software, o directamente, haciendo doble clic sobre el ícono que los representa.

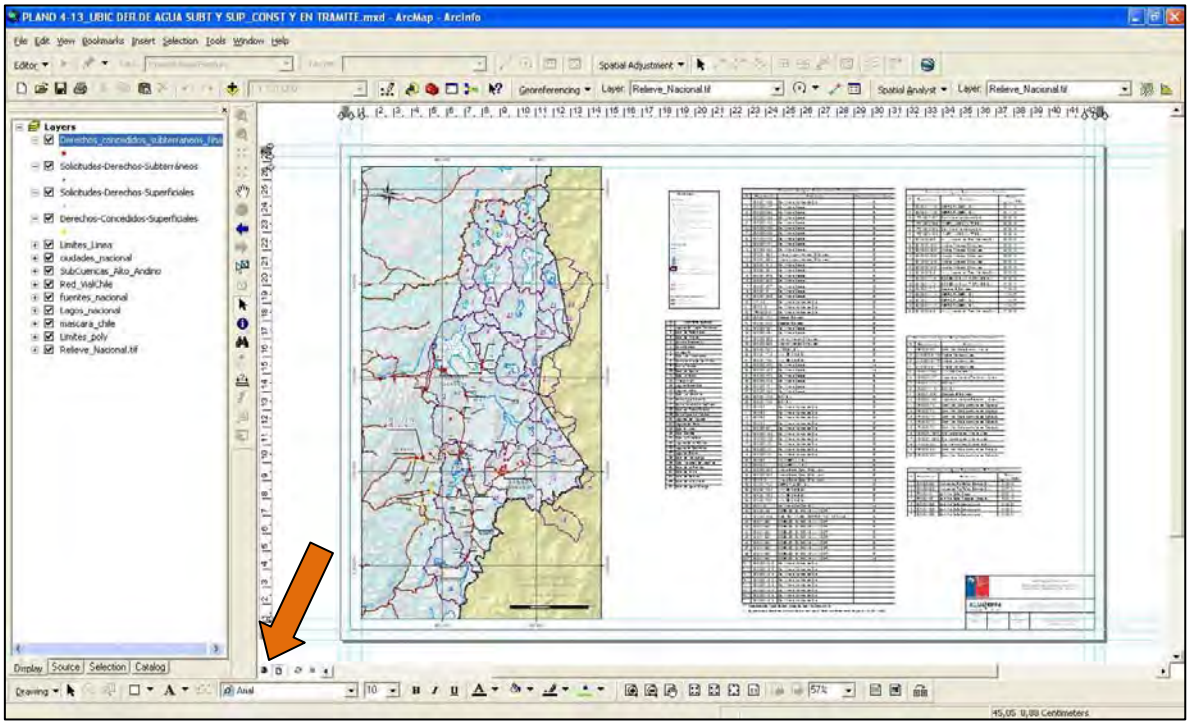
El ambiente de trabajo es el módulo ArcMap, donde es posible representar gráficamente los datos espaciales, los cuales se organizan en la tabla de contenidos (en rojo en la Figura 13.2-1), donde cada elemento desplegado corresponde a una capa de información también llamada layer o shape (denominación de los archivos nativos de ArcGIS).

FIGURA 13.2-1
VENTANA PRINCIPAL DEL MÓDULO ARCMAP



Además, en la parte superior se encuentran los menús colgantes y las distintas barras de herramientas (en verde) para el trabajo de los datos. También se puede visualizar el Layout que es la representación para impresión que contiene elementos típicos de una composición cartográfica como el Norte, la simbología, la escala gráfica y la grilla de coordenadas, además de las fuentes de información y el Datum origen del sistema de coordenadas en las cuales se representa dicho mapa.

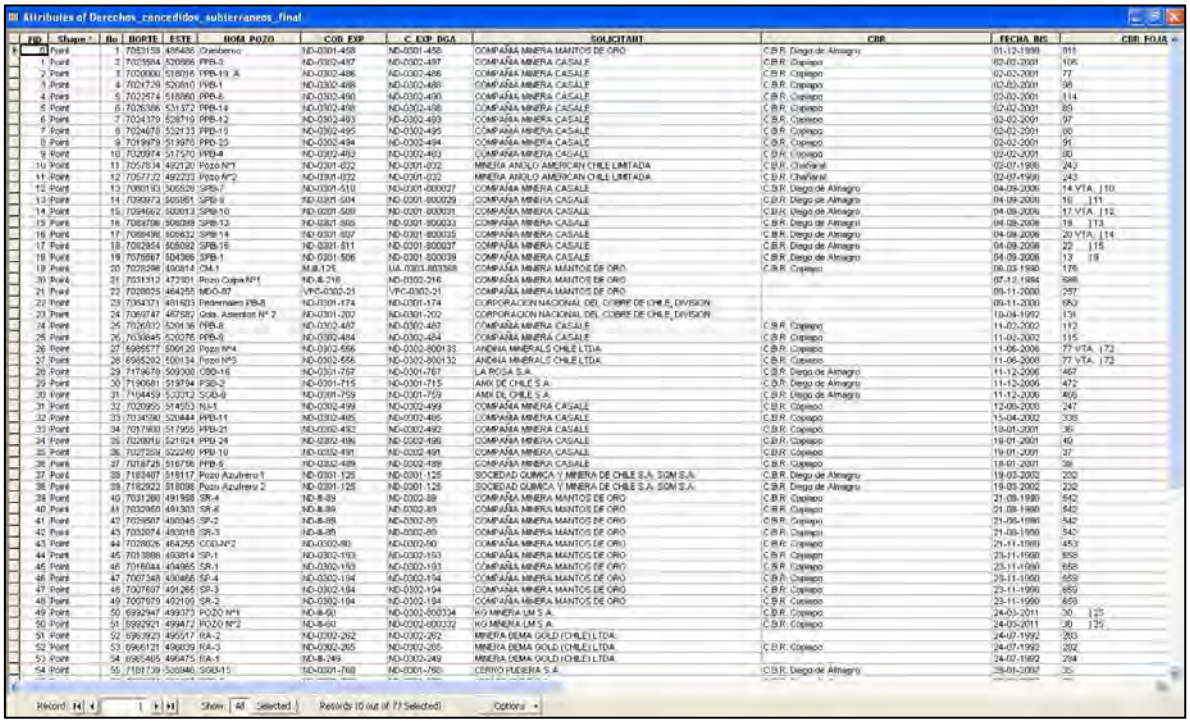
FIGURA 13.2-2
VISTA DEL LAYOUT



Para cambiar de una vista a otra solo se debe elegir entre “Data View” o “Layout View”, comandos que se encuentran en la parte inferior izquierda de la vista, los cuales están señalados en la Figura 13.2-2.

Otro aspecto importante de señalar es que, utilizando el botón secundario sobre los layer en la vista de contenidos, es posible desplegar las Tablas de atributos asociadas a cada uno de los layer, que representa una de las mayores características de los SIG: almacenamiento de información asociada a datos espaciales (ver Figura 13.2-3).

FIGURA 13.2-3
VISTA DE LA TABLA DE ATRIBUTOS



Cabe destacar que de las funcionalidades que dispone el software ArcGis, sólo se emplearon aquellas herramientas asociadas a los componentes de Vistas, Tablas y Layout.

13.3. Base Cartográfica

La presente implementación utilizó como base cartográfica la Cartografía Regular del IGM en escala 1:50.000, referida a coordenadas UTM, con origen en el Datum WGS 84 Huso 19 Sur.

La información utilizada de la fuente citada fue la siguiente:

Información base:

- Límites Administrativos
- Ciudades
- Hidrografía
- Lagos y Lagunas
- Vialidad
- Poblados

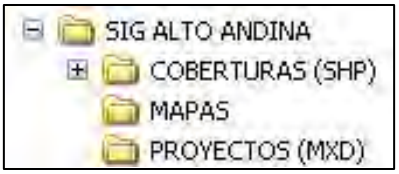
Información generada:

- Derechos Concedidos Subterráneos
- Derechos Concedidos Superficiales
- Derechos Subterráneos en Trámite
- Derechos Superficiales en Trámite
- Estaciones Fluviométricas, Pluviométricas, Evaporimétricas, Temperatura y Calidad de Aguas

13.4. Instalación de la Aplicación SIG

La aplicación del Sistema de Información Geográfica se encuentra organizada en un directorio principal denominado SIG ALTO ANDINA, el cual tiene una estructura de directorios que contiene los proyectos de ArcGIS, las coberturas o shapes y los mapas obtenidos.

ESTRUCTURA GENERAL DEL SIG



Para utilizar la aplicación basta con copiar la carpeta principal del SIG en cualquier directorio del PC, luego entrar en la carpeta PROYECTOS (MXD) que contiene los proyectos y dar clic al proyecto seleccionado para ingresar al módulo ArcMap de ArcGIS. Lo anterior se debe a que todos los proyectos están configurados para que el direccionamiento de los archivos que lo componen sea relativo. En caso de tener algún problema se recomienda copiar toda la carpeta directamente en el disco C.

Cabe comentar que todos los proyectos no requieren del uso de ninguna extensión adicional para su ejecución.

13.5. Diseño y Organización SIG

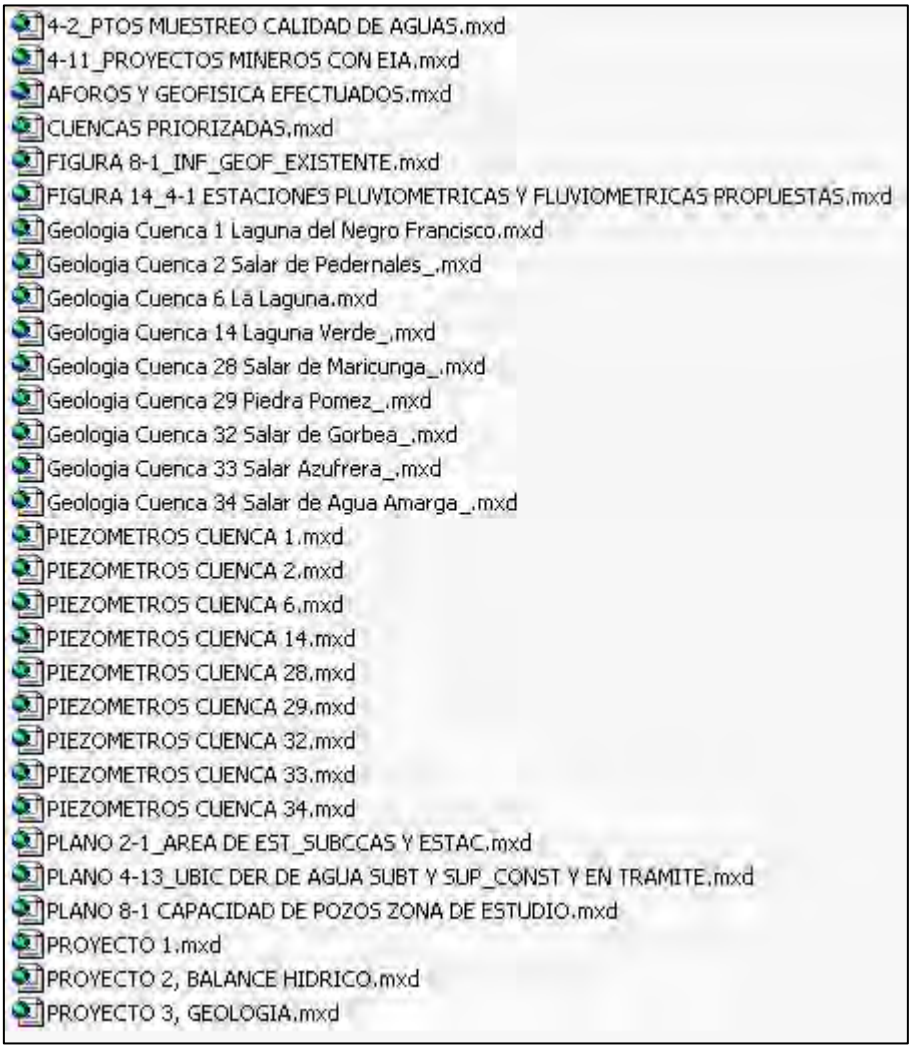
13.5.1. Diseño Lógico y Conceptual

Con el objetivo de permitir que la información presentada y generada en el estudio sea de fácil acceso y consulta, se realizó la integración de todos los datos en un ambiente geoespacial, donde se relacionan directamente los puntos o sectores a que corresponde la información, con la asociada a dicho lugar.

Para la consulta de las bases de datos gráfica y alfanumérica asociada del SIG se utilizó el software ArcGIS 9.3 de Esri.

De esta forma, el SIG se ha organizado físicamente en 30 proyectos que contienen la información.

PROYECTOS INTEGRADOS AL SIG



Cada uno de los proyectos está conformado por una vista donde están cargadas todas las coberturas de cada uno de los temas y además, cada proyecto tiene un Layout donde se muestra la composición cartográfica del tema específico. Tal como se aprecia en la figura anterior, para cada una de las 9 subcuencas priorizadas existe un proyecto con información de las unidades geológicas presentes en cada una de ellas y un proyecto con información respecto a los piezómetros, Nano TEM y TEM propuestos. En el proyecto denominado “Figura 14.4-1 Estaciones Pluviometricas y

Fluviometricas Propuestas" se incluyen las estaciones pluvio-nivométricas, evaporimétricas, fluviométricas, piezómetros, y geofísica propuesta.

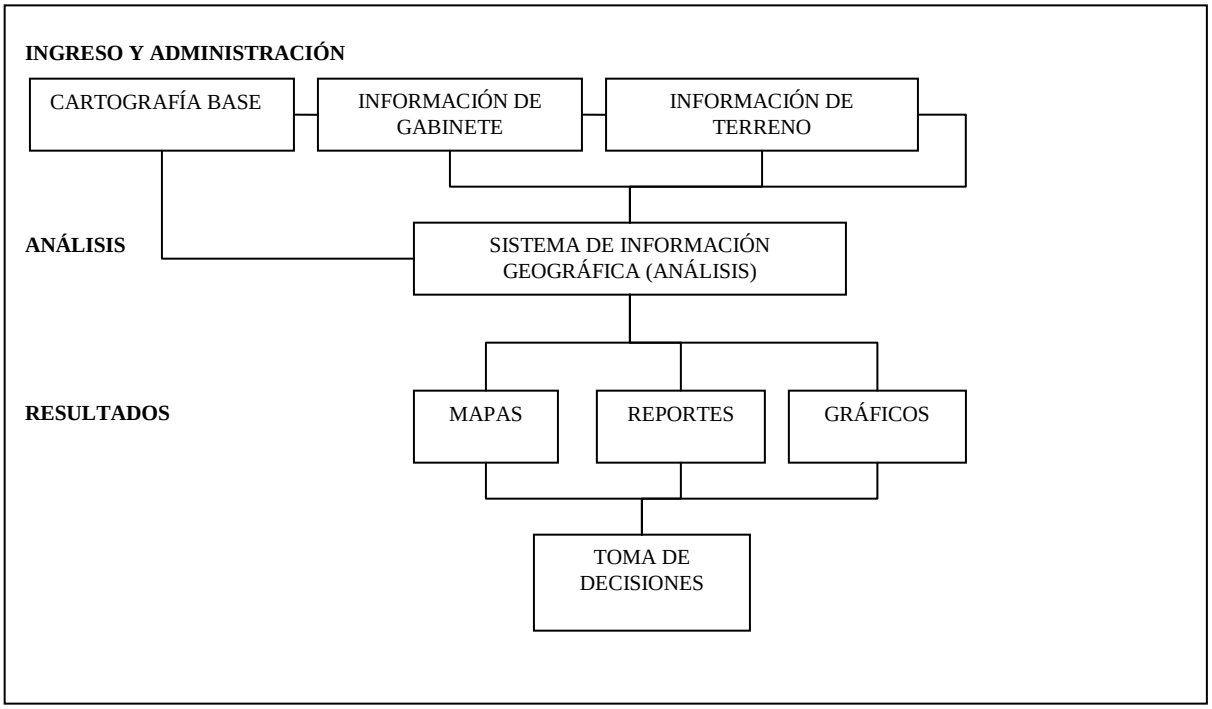
Cada uno de los proyectos está conformado por una vista donde están cargadas todas las coberturas de cada uno de los temas y además, cada proyecto tiene un Layout donde se muestra la composición cartográfica del tema específico.

El diseño conceptual y lógico general adoptado para el SIG, se presenta en la Figura 13.5-1.

Según se observa en esa figura, el diseño conceptual considera el ingreso de información al SIG a través de 3 formas: Cartografía base, Levantamiento de información en gabinete y terreno, conformándose de esta forma las bases de datos gráficas y alfanuméricas de las cuencas específicas.

Realizada la implementación física del SIG en el software ArcGIS 9.3, es factible aprovechar sus potencialidades como herramienta de administración, visualización y caracterización de datos espaciales.

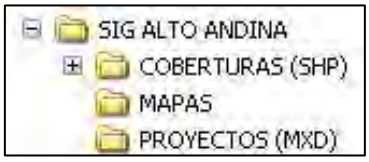
FIGURA 13.5-1
DISEÑO CONCEPTUAL SIG



13.5.2. Estructura de Directorios

Como se explicó anteriormente, toda la información está contenida en la carpeta principal del SIG llamada “SIG ALTO ANDINA”. Dentro de ella se han dispuesto tres directorios principales: COBERTURAS (SHP), MAPAS y PROYECTOS (MXD).

DIRECTORIOS DENTRO DEL SIG



En el directorio MAPAS se encuentran las composiciones cartográficas en formato pdf. Para el caso de la información temática presentada en el SIG, en el directorio COBERTURAS (SHP) se han dispuesto las carpetas temáticas utilizadas para la composición de los proyectos. La estructura definida se muestra en la Figura 13.5-2.

FIGURA 13.5-2
ESTRUCTURA DE CARPETAS PARA CADA CAPA TEMÁTICA



Según se muestra en la figura anterior, la estructura de la información se organiza dentro del directorio COBERTURAS (SHP), en carpetas temáticas, y en su interior se encuentran las capas relacionadas al tema de la carpeta.

Dentro de la carpeta COBERTURAS (SHP), además de la información temática, existe una carpeta llamada “FONDO”, la cual posee shapes derivados que sólo se utilizan para una mejor representación de los mapas, y en sí no contienen información relevante como SIG.

Las carpetas con información temática se encuentran nombradas descriptivamente, como por ejemplo, la carpeta “DERECHOS” que contiene los shape de derechos superficiales y subterráneos, concedidos y en trámite para la zona de estudio. Para ver el detalle de las coberturas se presenta el Cuadro 13.5-1 con las capas o shapes que contiene cada carpeta y que han sido utilizados en la presentación de los proyectos que se entregan en el SIG. En este cuadro se entrega una descripción genérica de cada uno de los archivos, junto con la fuente de información y una breve descripción.

Es necesario señalar que para la generación del shape de zonas húmedas para cada subcuenca no se diferenció entre vega, bofedal y humedal ya que la referencia utilizada para la generación de esta información (SITHA CIREN) no contenía esta categorización, por lo que dentro del shape están contenidas esas 3 categorías.

CUADRO 13.5-1
CAPAS O SHAPES, UTILIZADOS EN LOS PROYECTOS DEL SIG, POR CARPETA

Carpeta	Shape o Capa	Fuente	Descripción
INFO ESTUDIOS	Geofisica	CPH CONSULTORES, 2004	Perfiles Geofísicos, Método TEM y Perfiles Sísmicos
	Geofisica_SEV_CDRO_1	BETTANCOURT Y JULIO, 1976	Sondeo Eléctrico Vertical, SEV
	Geofisica_SEV_CDRO_2	EXPEDIENTE NE-0302-461	Sondeo Eléctrico Vertical, SEV
	gravimetria	AGUIRRE, 2003	Gravimetría
INFO ND-302-90	GEOF_ND_302_90_project	EXPEDIENTE ND-302-90	Perfiles Gravimétricos
INFO ND-302-483 AL 499	29_PEDERNALES	EXPEDIENTES ND 302-483 al 499	Perfiles Geofísicos efectuados, Método TEM
INFO TEM GOLDER 2011	NANOTEM_FIG_100_GOLDER	Perfiles Geofísicos, Método NANOTEM	GOLDER ASSOCIATES S.A., 2011
	NANOTEM_FIG_103_GOLDER	Perfiles Geofísicos, Método NANOTEM	GOLDER ASSOCIATES S.A., 2011
	NANOTEM_FIG_105_GOLDER	Perfiles Geofísicos, Método NANOTEM	GOLDER ASSOCIATES S.A., 2011
	TEM_FIG_100_GOLDER	Perfiles Geofísicos, Método TEM	GOLDER ASSOCIATES S.A., 2011
	TEM_FIG_103_GOLDER	Perfiles Geofísicos, Método TEM	GOLDER ASSOCIATES S.A., 2011
	TEM_FIG_105_GOLDER	Perfiles Geofísicos, Método TEM	GOLDER ASSOCIATES S.A., 2011
	TEM_FIG_107_GOLDER	Perfiles Geofísicos, Método TEM	GOLDER ASSOCIATES S.A., 2011
SHP_SUBCUENCAS	Subcuencas_Alto_Andino	DGA	Delimitación de Subcuencas Alto Andino
CALIDAD DE AGUAS	FQ_ref_02	Estudio Levantamiento Hidrogeológico para el desarrollo de nuevas fuentes de agua Áreas Prioritarias de la zona norte de Chile, regiones XV, I, II y III	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 2
	FQ_ref_07	Estudio Geoquimica de Aguas en cuencas cerradas: I, II y III regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las cuencas de la III Región.	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 7
	FQ_ref_14	Estudio Reapertura Operación Agua de la Falda, Proyecto Jerónimo	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 14
	FQ_ref_15	Estudio Proyecto Minero Volcán	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 15
	FQ_ref_16	Estudio Proyecto Arqueros	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 16
	FQ_ref_17_1_Project	Estudio Optimizacion Proyect o Minero Cerro Casale	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 17
	FQ_ref_18_1	Estudio Reinicio y Expansión Proyecto Lobo Marte	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 18
	FQ_ref_19	Estudio Explotación Minera Proyecto Purén	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 19

Carpeta	Shape o Capa	Fuente	Descripción
	FQ_ref_21	Estudio Proyecto Minero Aldebarán	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 21
	FQ_ref_22_1	Estudio Proyecto Chimberos	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 22
	ptos_muestro_ref23	Estudio Proyecto Minero Refugio	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 23
	PTOS_MUESTRO_REF_31	Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Salar de Maricunga: sector Ciénaga Redonda, Escala 1:100.000	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 31
	PTOS_MUESTREO_REF_32	Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Campo de Piedra Pomez-Laguna Verde, Escala 1:100.000	Puntos de muestreos de Calidad de Aguas, referencia 32
PROYECTOS MINEROS	Proy_Min_con_Info2	Servicio de Evaluación Ambiental	Ubicación de Proyectos Mineros con EIA
SHP_ESTACIONES	Est_calidad_III	DGA	Ubicación de Estaciones de Calidad de Aguas
	Est_Evap_III	DGA	Ubicación de Estaciones Evaporimétricas
	EST_FLUVIO	DGA	Ubicación de Estaciones Fluviométricas
	Est_Met_Temp_III	DGA	Ubicación de Estaciones de Temperatura
	EST_PLUVIO	DGA	Ubicación de Estaciones Pluviométricas
DERECHOS	Derechos_concedidos_subterraneos_final	DGA	Ubicación de los Derechos Concedidos Subterráneos de la zona de estudio
	Derechos_concedidos-Superficiales	DGA	Ubicación de los Derechos Concedidos Superficiales de la zona de estudio
	Solicitudes-Derechos-Subterráneos	DGA	Ubicación de las Solicitudes de Derechos Subterráneos de la zona de estudio
	Solicitudes-Derechos-Superficiales	DGA	Ubicación de las Solicitudes de Derechos Superficiales de la zona de estudio
CAPACIDAD DE POZOS	DA_Conced_Subterraneos	DGA	Datos Característicos de Capacidad de Pozos con Derechos de Aguas Subterráneas Concedidos
	Da_Trámite_SUBT	DGA	Datos Característicos de Capacidad de Pozos con Derechos de Aguas Subterráneas en Trámite
FONDO	mascara_chile	DGA	Mascara de Chile, delimitación mar-continente
	Relieve_Nacional	DGA	Imagen TIF de la representación del relieve de Chile
SHP_BASE	ciudades_nacional	DGA	Principales centros urbanos de la zona de estudio
	fuentes_nacional	DGA	Red Hidrográfica de la zona de estudio
	Lagos_nacional	DGA	Lagos de la zona de estudio
	Limites_Linea	DGA	Límites administrativos en formato de línea
	Limites_poly	DGA	Límites administrativos en formato de polígono
	poblados_III	DGA	Poblados de la III Región
	Red_VialChile	DGA	Red Vial de la zona de estudio
AFOROS	AFOROS_WGS84	Trabajo terreno, octubre 2013	Ubicación de Aforos efectuados
GEOFISICA	EST_TEM	Trabajo terreno, octubre 2013	Ubicación de Estaciones TEM

Carpeta	Shape o Capa	Fuente	Descripción
ESTACIONES PROPUESTAS	Estac_Fluvio_Propuestas_2	AQUATERRA	Estaciones Fluviométricas y Pluviométricas propuestas
	PIEZOMETROS	AQUATERRA	Piezómetros, Nano TEM y TEM propuestos
SHP SITHA CIREN	humedales_III_mma_84_19	CIREN	Humedales, vegas y bofedales de la III Región
CUENCAS PRIORIZADAS\CUENCA 1	AREAS_NIVALES_1_Project	AQUATERRA	Área Nival Subsubcuenca 1
	AREAS_PLUVIALES_1_Project	AQUATERRA	Área Pluvial Subsubcuenca 1
	CUENCAS_1_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 1
	LAGUNAS_CCA1_WGS84	AQUATERRA	Lagunas presentes en Subsubcuenca 1
	ZH_CCA1_WGS84	AQUATERRA	Zonas Húmedas presentes en Subsubcuenca 1
CUENCAS PRIORIZADAS\CUENCA 2	AREAS_NIVALES_2_Project	AQUATERRA	Área Nival Subsubcuenca 2
	AREAS_PLUVIALES_2_Project	AQUATERRA	Área Pluvial Subsubcuenca 2
	CUENCAS_2_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 2
	LAGUNA_CCA2_WGS84	AQUATERRA	Lagunas presentes en Subsubcuenca 2
	SAL_CCA2_WGS84	AQUATERRA	Salares presentes en Subsubcuenca 2
	ZH_CCA2_WGS84	AQUATERRA	Zonas Húmedas presentes en Subsubcuenca 2
CUENCAS PRIORIZADAS\CUENCA 6	AREAS_NIVALES_6_Project	AQUATERRA	Área Nival Subsubcuenca 6
	AREAS_PLUVIALES_6_Project	AQUATERRA	Área Pluvial Subsubcuenca 6
	CUENCAS_6_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 6
	LAGUNA_CCA6_WGS84	AQUATERRA	Lagunas presentes en Subsubcuenca 6
	ZH_CUENCA6_WGS84	AQUATERRA	Zonas Húmedas presentes en Subsubcuenca 6
CUENCAS PRIORIZADAS\CUENCA 14	AREAS_NIVALES_14_Project	AQUATERRA	Área Nival Subsubcuenca 14
	AREAS_PLUVIALES_14_Project	AQUATERRA	Área Pluvial Subsubcuenca 14
	CUENCAS_14_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 14
	LAGUNAS_CCA14_WGS84	AQUATERRA	Lagunas presentes en Subsubcuenca 14
	ZH_CCA14_WGS84	AQUATERRA	Zonas Húmedas presentes en Subsubcuenca 14
CUENCAS PRIORIZADAS\CUENCA 28	AREAS_NIVALES_28_Project	AQUATERRA	Área Nival Subsubcuenca 28
	AREAS_PLUVIALES_28_Project	AQUATERRA	Área Pluvial Subsubcuenca 28
	CUENCA_28_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 28
	LAGUNA_CCA28_WGS84	AQUATERRA	Lagunas presentes en Subsubcuenca 28
	SAL_CCA28_WGS84	AQUATERRA	Salares presentes en Subsubcuenca 28

Carpeta	Shape o Capa	Fuente	Descripción
	ZH_CCA28_WGS84	AQUATERRA	Zonas Húmedas presentes en Subsubcuenca 28
CUENCAS PRIORIZADAS\CUENCA 29	AREAS_NIVALES_29_Project	AQUATERRA	Área Nival Subsubcuenca 28
	AREAS_PLUVIALES_29_Project	AQUATERRA	Área Pluvial Subsubcuenca 28
	CUENCAS_29_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 28
CUENCAS PRIORIZADAS\CUENCA 32	AREAS_NIVALES_32_Project	AQUATERRA	Área Nival Subsubcuenca 32
	AREAS_PLUVIALES_32_Project	AQUATERRA	Área Pluvial Subsubcuenca 32
	cuencas_32_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 32
	LAGUNAS_CCA32_WGS84	AQUATERRA	Lagunas presentes en Subsubcuenca 32
	SALAR_CCA32_WGS84	AQUATERRA	Salares presentes en Subsubcuenca 32
	ZH_CCA32_WGS84	AQUATERRA	Zonas Húmedas presentes en Subsubcuenca 32
CUENCAS PRIORIZADAS\CUENCA 33	AREAS_NIVALES_33_Project	AQUATERRA	Área Nival Subsubcuenca 33
	AREAS_PLUVIALES_33_Project	AQUATERRA	Área Pluvial Subsubcuenca 33
	Cuencas_33_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 33
	SALAR_CCA33_WGS84	AQUATERRA	Salares presentes en Subsubcuenca 33
CUENCAS PRIORIZADAS\CUENCA 34	AREAS_NIVALES_34_Project	AQUATERRA	Área Nival Subsubcuenca 34
	AREAS_PLUVIALES_34_Project	AQUATERRA	Área Pluvial Subsubcuenca 34
	CUENCAS_34_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 34
	LAGUNA_CCA34_WGS84	AQUATERRA	Lagunas presentes en Subsubcuenca 34
	SAL_CCA34_WGS84	AQUATERRA	Salares presentes en Subsubcuenca 34
CUENCAS PRIORIZADAS	9_Cuencas_Priorizadas	AQUATERRA	Delimitación de Subcuencas
	Cauces_Cuencas_Priorizadas	AQUATERRA	Delimitación de cauces de subcuencas
GEOLOGIA\CUENCA 1	Estructuras 1	Iriarte, Ugalde y Venegas, 998 escala 1:100000	Fallas geológicas subsubcuenca
	Geologia 1		Unidades Geológicas
	Límite 1		Delimitación de Subsubcuenca
	Relleno 1		Relleno Sedimentario presente en cada subsubcuenca
GEOLOGIA\CUENCA 2	Estructuras 2	Cornejo, 1996; Clavero, 1998; Tomlinson, 1999; Clavero, 2012	Fallas geológicas subsubcuenca
	Geologia 2		Unidades Geológicas
	Limite 2		Delimitación de Subsubcuenca

Carpeta	Shape o Capa	Fuente	Descripción
	Relleno 2		Relleno Sedimentario presente en cada subsubcuenca
GEOLOGIA\CUENCA 6	Estructuras 6	Clavero, 1998; Tomlinson, 1999	Fallas geológicas subsubcuenca
	Geologia 6		Unidades Geológicas
	Límite cuencas		Delimitación de Subsubcuenca
	Relleno 6		Relleno Sedimentario presente en cada subsubcuenca
GEOLOGIA\CUENCA 14	Estructuras 14	Carta Geología de las áreas Salar de Wheelwright y Paso San Francisco; Mapa Geológico de las hojas Nevados Ojos del Salado	Fallas geológicas subsubcuenca
	Geologia 14		Unidades Geológicas
	Limite 14		Delimitación de Subsubcuenca
	Relleno 14		Relleno Sedimentario presente en cada subsubcuenca
GEOLOGIA\CUENCA 28	Estructuras 28	Iriarte y Mpodozis, 1995; Cornejo, 1996; Gardeweg, 1997; Clavero, 2012	Fallas geológicas subsubcuenca
	Geologia 28 parte 1		Unidades Geológicas
	Geologia 28 parte 2		Unidades Geológicas
	Limite 28		Delimitación de Subsubcuenca
	Relleno28		Relleno Sedimentario presente en cada subsubcuenca
GEOLOGIA\CUENCA 29	Estructuras 29	Carta Geología de las áreas Salar de Wheelwright y Paso San Francisco; Mapa Geológico de las hojas Nevados Ojos del Salado	Fallas geologicas subsubcuenca
	Geologia 29		Unidades Geológicas
	lim29		Delimitación de Subsubcuenca
	Relleno 29		Relleno Sedimentario presente en cada subsubcuenca
GEOLOGIA\CUENCA 32	Estructuras 32	Naranjo, J.A., Cornejo, P. Hoja Salar de la Isla, 1992	Fallas geologicas subsubcuenca
	Geologia Cuenca 32		Unidades Geológicas
	Límite cuenca 32		Delimitación de Subsubcuenca
	Relleno 32		Relleno Sedimentario presente en cada subsubcuenca
GEOLOGIA\CUENCA 33	Estructuras 33	Naranjo, J.A., Cornejo, P. Hoja Salar de la Isla, 1992	Fallas geologicas subsubcuenca
	Geologia 33		Unidades Geológicas
	Limite 33		Delimitación de Subsubcuenca
	Relleno 33		Relleno Sedimentario presente en cada subsubcuenca
GEOLOGIA\CUENCA 34	Estructuras 34	Naranjo, J.A., Cornejo, P. Hoja Salar de la Isla, 1992	Fallas geologicas subsubcuenca
	Geologia 34		Unidades Geológicas
	Limite 34		Delimitación de Subsubcuenca
	Relleno 34		Relleno Sedimentario presente en cada subsubcuenca

Carpeta	Shape o Capa	Fuente	Descripción
PIEZOMETROS\CUENCA 1	PIEZ_CUENCA1	AQUATERRA	Ubicación de Piezómetros en la subsubcuenca
	CUENCAS_1_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 1
PIEZOMETROS\CUENCA 2	PIEZ_CUENCA2	AQUATERRA	Ubicación de Piezómetros en la subsubcuenca
	CUENCAS_2_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 2
PIEZOMETROS\CUENCA 6	PIEZ_CUENCA6	AQUATERRA	Ubicación de Piezómetros en la subsubcuenca
	CUENCAS_6_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 6
PIEZOMETROS\CUENCA 14	PIEZ_CUENCA14	AQUATERRA	Ubicación de Piezómetros en la subsubcuenca
	CUENCAS_14_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 14
PIEZOMETROS\CUENCA 28	PIEZ_CUENCA28	AQUATERRA	Ubicación de Piezómetros en la subsubcuenca
	CUENCAS_28_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 28
PIEZOMETROS\CUENCA 29	PIEZ_CUENCA29	AQUATERRA	Ubicación de Piezómetros en la subsubcuenca
	CUENCAS_29_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 29
PIEZOMETROS\CUENCA 32	PIEZ_CUENCA32	AQUATERRA	Ubicación de Piezómetros en la subsubcuenca
	CUENCAS_32_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 32
PIEZOMETROS\CUENCA 33	PIEZ_CUENCA33	AQUATERRA	Ubicación de Piezómetros en la subsubcuenca
	CUENCAS_33_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 33
PIEZOMETROS\CUENCA 34	PIEZ_CUENCA34	AQUATERRA	Ubicación de Piezómetros en la subsubcuenca
	CUENCAS_34_Project	AQUATERRA	Delimitación de Subsubcuenca 34

13.5.3. Base de Datos y Diseño de Tablas

a) Base de Datos

Las bases de datos que integran el SIG mantienen el formato nativo del software ArcGIS denominados shapefile.

Este archivo almacena tanto las características geométricas y atributos de los datos espaciales. De acuerdo a ello la cobertura de ArcGIS está compuesta por cinco archivos:

archivo. shp
archivo.dbf
archivo.shx
archivo.sbx
archivo.prj

b) Diseño de Tablas

Las bases de datos de atributos, que integran este SIG, poseen una estructura de archivo dbf, la cual se organiza en campos (columnas) y registros (filas).

13.5.4. Presentación de Resultados

Para cada uno de los proyectos implementados se construyeron Layouts en formatos A1, doble carta y carta según el caso, que permiten la representación gráfica de los resultados generados.

Cabe mencionar que para la representación de los diferentes temas, se generaron simbologías de extensión .lyr que permiten su reconstrucción. Estos archivos se encuentran almacenados en la carpeta de cada cobertura y el nombre de cada archivo es similar al del respectivo tema.

13.5.5. Planos Temáticos

Los planos temáticos impresos se adjuntan al informe, y son los siguientes:

Figura 8-1 Información Geofísica Existente, formato Carta.
Plano 4-13 Ubicación Derechos de Aguas Subterráneos y Superficiales, constituidos y en trámite, formato Doble Carta.
Plano 2-1 Área de Estudio Subcuencas y Estaciones, formato A1.
Plano 8-1 Capacidad de Pozos zona de estudio, formato A1.

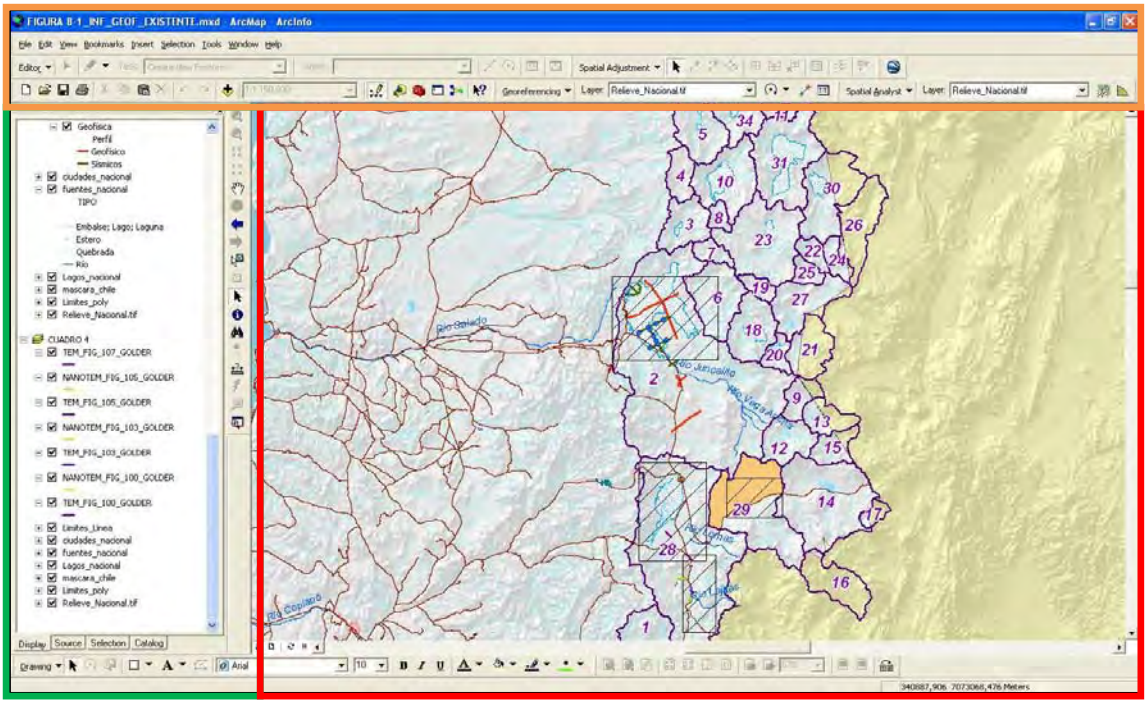
Figura 14.4-1 Estaciones Fluviométricas, Pluv-Nivométricas, Piezómetros y Geofísica propuesta, formato A1
4-2 Puntos de Muestreo Calidad de Aguas, formato A1.
4-11 Proyectos Mineros con EIA, formato carta.
Geología Cuenca 1 Laguna del Negro Francisco, formato A3.
Geología Cuenca 2 Salar de Pedernales, formato A2.
Geología Cuenca 6 La Laguna, formato Carta.
Geología Cuenca 14 Laguna Verde, formato A3.
Geología Cuenca 28 Salar de Maricunga, formato A2.
Geología Cuenca 29 Piedra Pomez, formato A3.
Geología Cuenca 32 Salar de Gorbea, formato Carta.
Geología Cuenca 33 Salar Azufrera, formato Carta.
Geología Cuenca 34 Salar de Agua Amarga, formato Carta.

13.5.6. Visualización de la Información en el SIG

A modo de ejemplo de visualización de información que presenta el SIG, a continuación se muestran las partes principales de la vista que se despliega al abrir cada proyecto, y la forma en que se visualiza la información de la base de datos.

Al abrir alguno de los proyectos se despliega una ventana del SIG como la que muestra la Figura 13.5-3.

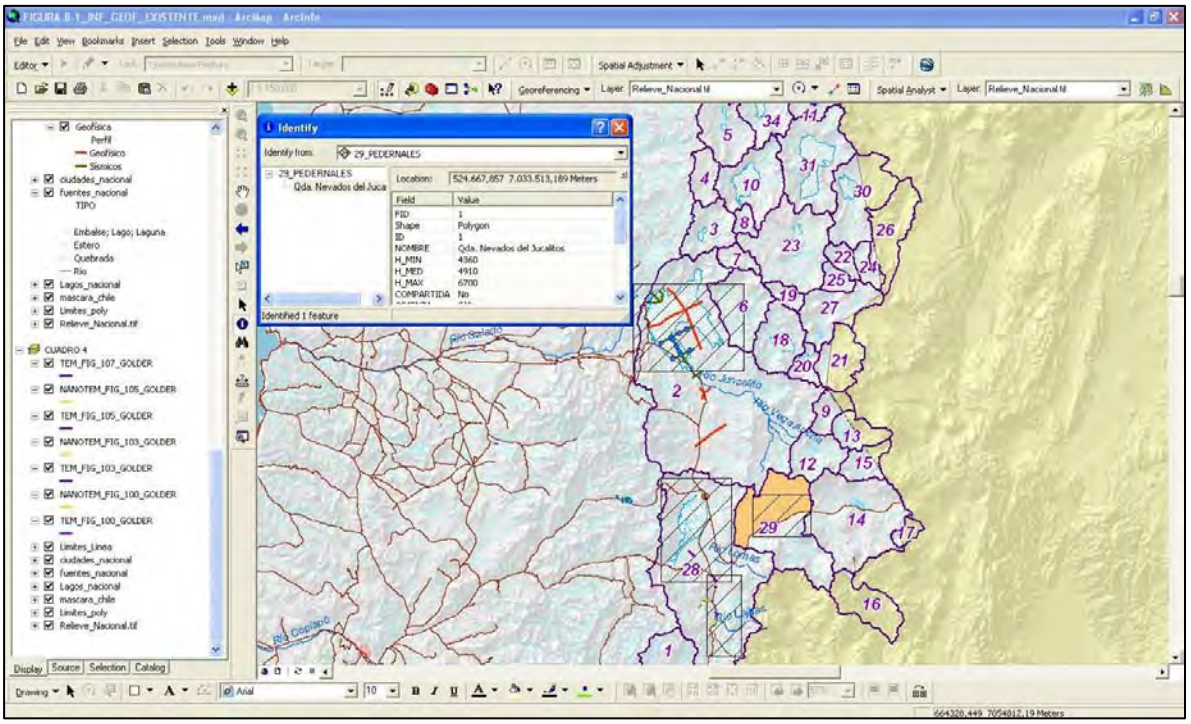
FIGURA 13.5-3
VENTANA DE VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN



En esta ventana se encuentra una vista principal donde se visualiza la información (marco en rojo) de las capas. En la parte superior de la ventana se presentan las barras de herramientas del programa (marco naranjo), y en el sector izquierdo está el listado de las capas que se muestran en la vista (marco verde). Cada capa tiene una simbología acorde a lo que se quiera representar en el mapa de la vista.

Una de las formas para acceder a la información y la base de datos, es utilizar la herramienta “Identify” que en la barra de herramienta corresponde al botón ; con esto se puede ver toda la información de la base general de datos para un objeto, sea este punto, línea o polígono que se seleccione (ver Figura 13.5-4). Otra manera es ir directamente a la tabla de atributos de la capa, como ya se ha mencionado anteriormente.

FIGURA 13.5-4
VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN
DE LA BASE DE DATOS ATRAVÉS DE LA HERRAMIENTA “Identify”



Se debe señalar que dentro de la tabla de atributos de las capas “AFOROS_WGS84” y “EST_TEM” se incorporó un campo con la ruta donde se encuentra información adicional para generar un link, para el caso de la capa “AFOROS_WGS84” el link generado es para mostrar una imagen del aforo y para el caso de la capa “EST_TEM” el link muestra un pdf con la sección de interpretación de sondeo de cada estación. Se puede acceder al link directamente en la vista (Data View) a través

de la herramienta “Hyperlink” ( ). Estos archivos se encuentran en las carpetas FOTOS y PDF respectivamente; la aplicación se encuentra activa en el proyecto “AFOROS Y GEOFISICA EFECTUADOS”. Para obtener un mejor funcionamiento de la herramienta “Hyperlink”, se recomienda instalar la carpeta principal “SIG ALTO ANDINA” directamente en la unidad C.

FIGURA 13.5-5
VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN
UTILIZANDO LA HERRAMIENTA “HYPERLINK”
PARA CAPA “AFOROS WGS84”

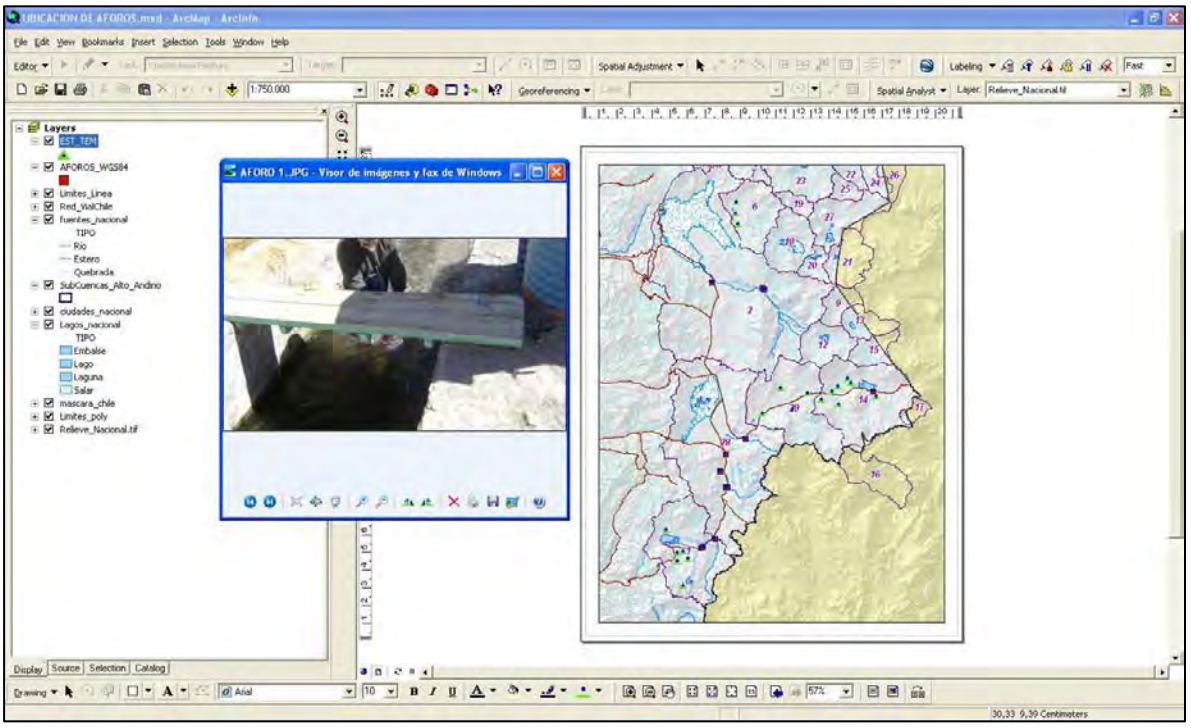
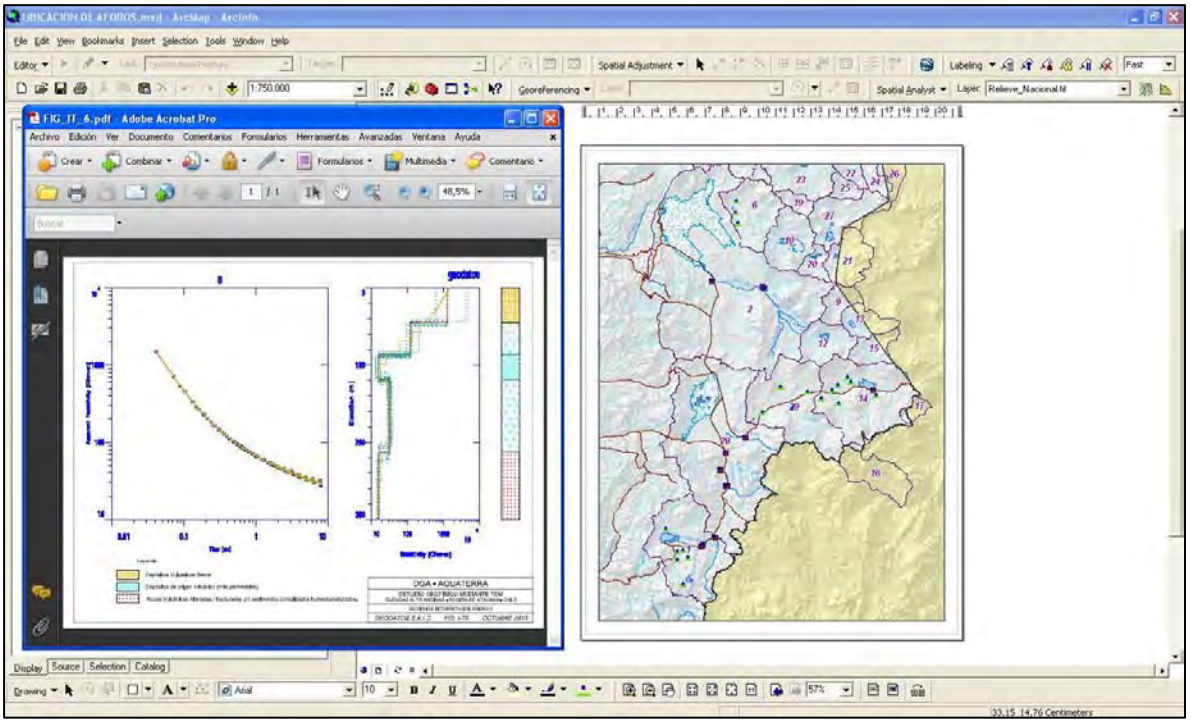


FIGURA 13.5-6
VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN
UTILIZANDO LA HERRAMIENTA "HYPERLINK"
PARA CAPA "EST_TEM"



14. PLAN INTEGRAL DE OBTENCIÓN DE DATOS

14.1. Generalidades

Tal cual se sabe que existe una gran incertidumbre en los cálculos de los balances hídricos que serán realizados, de las brechas en las distintas series de datos utilizadas, de las variables hidrológicas, meteorológicas e hidrogeológicas faltantes y cuya presencia mejorarían notablemente el cálculo de los balances hídricos realizados, se debe considerar un plan integral de obtención de datos, que permita derivar en la materialización de redes hidrometeorológicas distribuidas espacialmente de acuerdo a las necesidades investigadas.

Actualmente, en el área específica de estudio y alrededores, existen las siguientes tipos de estaciones (ver plano Nº 2-1):

- Estaciones Pluviométricas: existen 20 estaciones, de las cuales 5 fueron instaladas como parte del estudio de la Ref. 2 (Dictuc), y sólo fueron medidas durante 1 año (Octubre del 2007 a Octubre del 2008). De las 5 estaciones mencionadas, 4 se ubican dentro de las cuencas altoandinas materia del estudio. Del resto de las 15 estaciones, hay 3 descontinuadas.
- Estaciones Fluviométricas: existen 13 estaciones todas ellas operativas; de las 13 estaciones fluviométricas, 7 se ubican al interior de las cuencas alto andinas que son parte del estudio.
- Estaciones Evaporimétricas: existen 4 estaciones evaporimétricas, todas ellas fuera del área específica de estudio; una de ellas se encuentra no operativa.
- Estaciones de Temperatura: son 4 estaciones y se ubican junto a las 4 evaporimétricas.
- Estaciones de Calidad de Aguas: existen 8 estaciones de calidad, de las cuales sólo 1 de ellas es de calidad de aguas subterráneas; el resto corresponde a calidad de aguas superficiales. Las 7 estaciones de calidad de aguas superficiales se ubican dentro de las cuencas alto andinas de estudio.

14.2. Aforos Efectuados

Durante la campaña de terreno realizada entre los días 21 y 24 de octubre, recién pasados, se hicieron un total de 13 aforos, en diferentes cauces del área de interés. En ellos están incluidos 6 de la 7 estaciones fluviométricas existentes. La estación Río Astaburuaga en Cono no se pudo aforar, por estar el cauce totalmente congelado. Los puntos donde se hicieron los aforos fueron consensuados con la inspección fiscal y con profesionales de la DGA Región de Atacama.

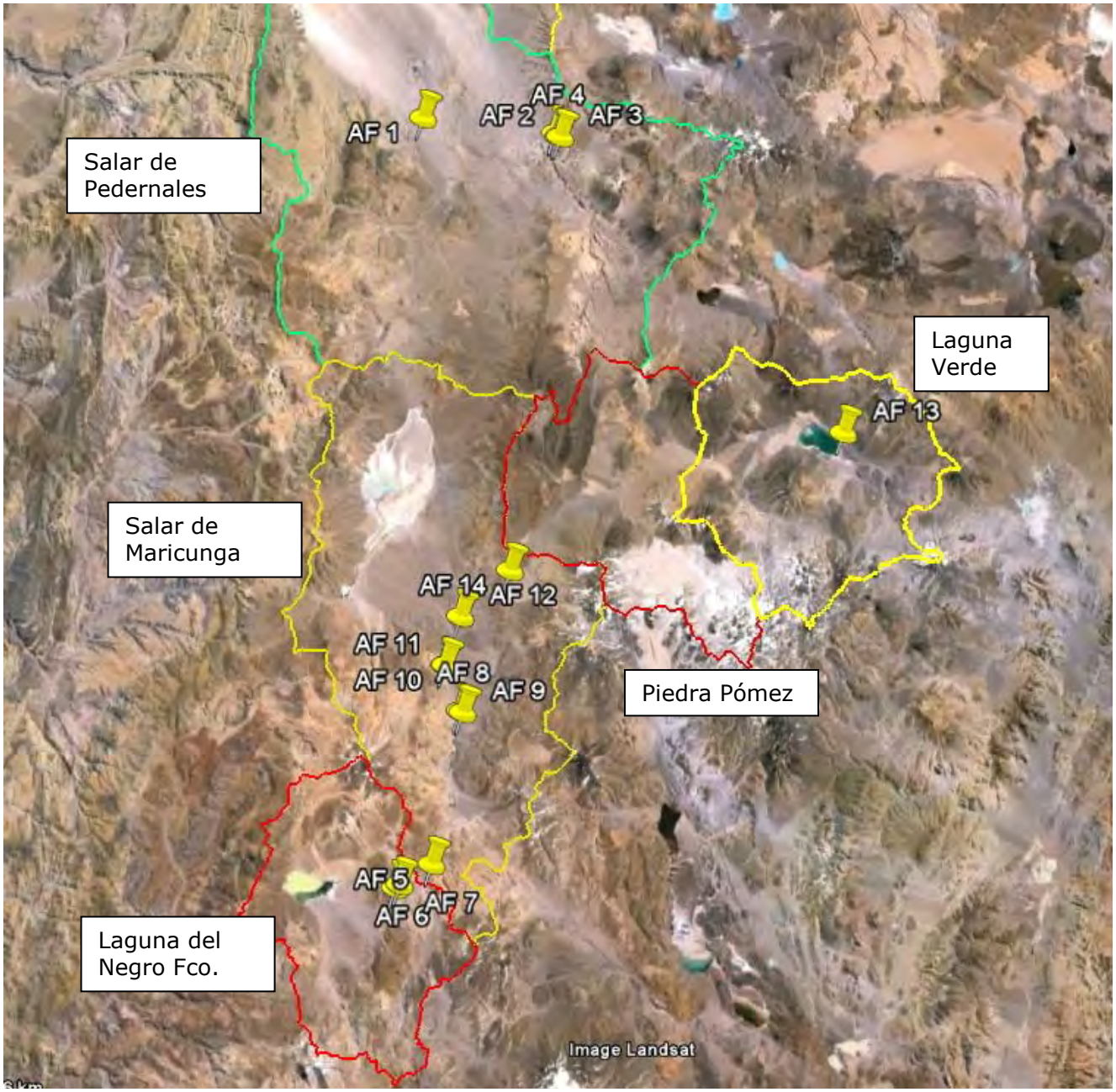
En el Cuadro 14.2-1 se resumen los detalles de ubicación, altura y caudal de cada punto, y en la Figura 14.2-1 se presenta la ubicación de estos puntos. En el Anexo 14-1 se presentan fotografías de los 14 puntos de aforo indicados en el Cuadro 14.2-1, y en el Anexo 14-2 se incluyen los detalles de cada aforo.

CUADRO 14.2-1
PUNTOS DE AFORO ZONA DE ESTUDIO
CAMPAÑA DE TERRENO 21 a 24 OCTUBRE DE 2013

Nº	Punto	Denominación	Coordenadas UTM (m) (Datum WGS 84, Huso 19		Cota (msnm)	Caudal (l/s)
			N	E		
1	AF-1	Río La Ola en Vertedero (*)	7.070.582	494.002	3.588	697
2	AF-2	Río Juncalito antes Confluencia	7.067.341	513.918	3.924	409
3	AF-3	Río Sin Nombre antes Confluencia	7.067.365	514.174	3.944	128
4	AF-4	Río Juncalito Bajo Confluencia	7.067.903	513.431	3.920	640
5	AF-5	Río Astaburuaga en Cono (“)	6.962.003	495.339	4.295	(**)
6	AF-6	Río Astaburuaga aguas abajo Estación DGA	6.959.037	490.656	4.235	185
7	AF-7	Río Astaburuaga en cruce camino	6.958.536	489.987	4.238	259
8	AF-8	Río Valle Ancho antes Barros Negros (*)	6.984.109	499.501	4.080	65
9	AF-9	Río Barros Negros antes Valle Ancho (*)	6.983.915	499.868	4.099	56
10	AF-10	Río Villalobos en Vertedero (*)	6.990.743	497.319	4.028	54
11	AF-11	Río Villalobos en Garganta	6.990.659	497.189	4.030	38
12	AF-12	Río Valle Ancho en Barrera (*)	6.997.787	499.493	3.945	22
13	AF-13	Río Agua Dulce en Desembocadura	7.024.295	555.321	4.353	39
14	AF-14	Río Lamas en El Salto (*)	7.004.483	506.766	4.309	359

(*) Estación fluviométrica DGA.
(**) No se aforó, por estar cauce congelado.

FIGURA 14.2-1
UBICACIÓN PUNTOS DE AFORO



A continuación se presentan algunos comentarios relevantes respecto a las secciones aforadas:

- La sección AF-4 Río Juncalito Bajo Confluencia, por sus características de flujo concentrado y parejo en la sección de aforo, así como su acceso expedito, debe ser considerada como una posible estación fluviométrica. En este sentido las estaciones AF-2 y AF-3, deben ser descartadas para estos fines, por su difícil acceso.
- Los puntos AF-6 y AF-7 corresponde a buenas secciones de aforo en el río Astaburuaga, y muy especialmente lo es la sección AF-7, pues se encuentra en una zona encajonada del río, que asegura un control de todo el caudal pasante. Ambas se encuentran en las proximidades del camino existente.
- En la cuenca de la Laguna del Negro Francisco, si bien se habían identificado posibles puntos de aforo hacia el Sur de la cuenca, a través de las imágenes de Google-Earth, se pudo comprobar que estas secciones o se encontraban secas o bien su cauce estaba completamente congelado, por lo que no se pudo hacer aforos en este sector de la cuenca.
- En la quebrada del río Villalobos, el aforo AF-11, ubicado en una garganta, unos 150 m aguas arriba de la estación de la DGA, permitió comprobar que los caudales aforados en ambas secciones son similares; considerando el grado de precisión de estos aforos con molinete, se puede concluir que la estación de Río Villalobos en Vertedero permite controlar prácticamente la totalidad del caudal pasante por la sección, pudiéndose despreciar los pequeños flujos superficiales observados a un costado de la estación.
- En general, las secciones de aforo ubicadas en sectores con velocidades de escurrimiento más bajas, típicamente zona de valles planos, están más expuestas a congelamiento. Las secciones ubicadas en quebradas afluentes a valles, presentan velocidades mayores, con menos posibilidades de congelamiento. Igualmente aquellas ubicadas en zona de vegas, como la quebrada de Villalobos, presentan cauces de pequeña sección, escondidos entre la vegetación, lo que les da un cierto grado de protección frente a las bajas temperaturas.

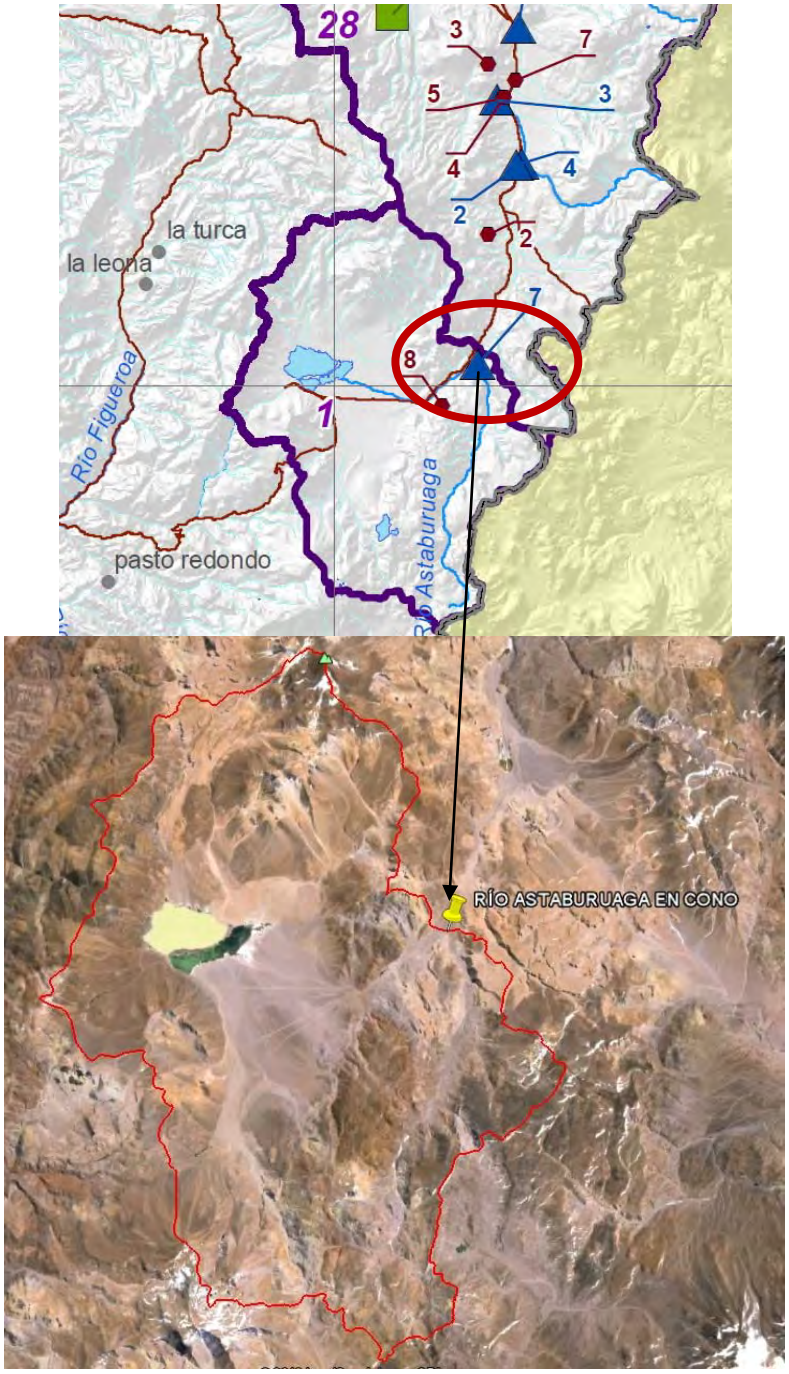
14.3. Diagnóstico de las Estaciones Fluviométricas Ubicadas dentro del Área de Interés

A continuación se incluye un análisis del estado y funcionamiento de las estaciones fluviométricas que se ubican dentro del área de estudio, de acuerdo con una vista a terreno efectuada durante la semana del 21 de Octubre de 2013.

14.3.1. Río Astaburuaga en Cono

En la Figura 14.3-1 se muestra la ubicación de la estación fluviométrica.

FIGURA 14.3-1
UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA
RÍO ASTABURUAGA EN CONO



A continuación se incluyen 3 fotografías del estado actual de la estación fluviométrica Río Astaburuaga en Cono.



23 de Octubre 2013, 11:25 hrs



23 de Octubre 2013, 11:25 hrs



23 de Octubre 2013, 11:25 hrs

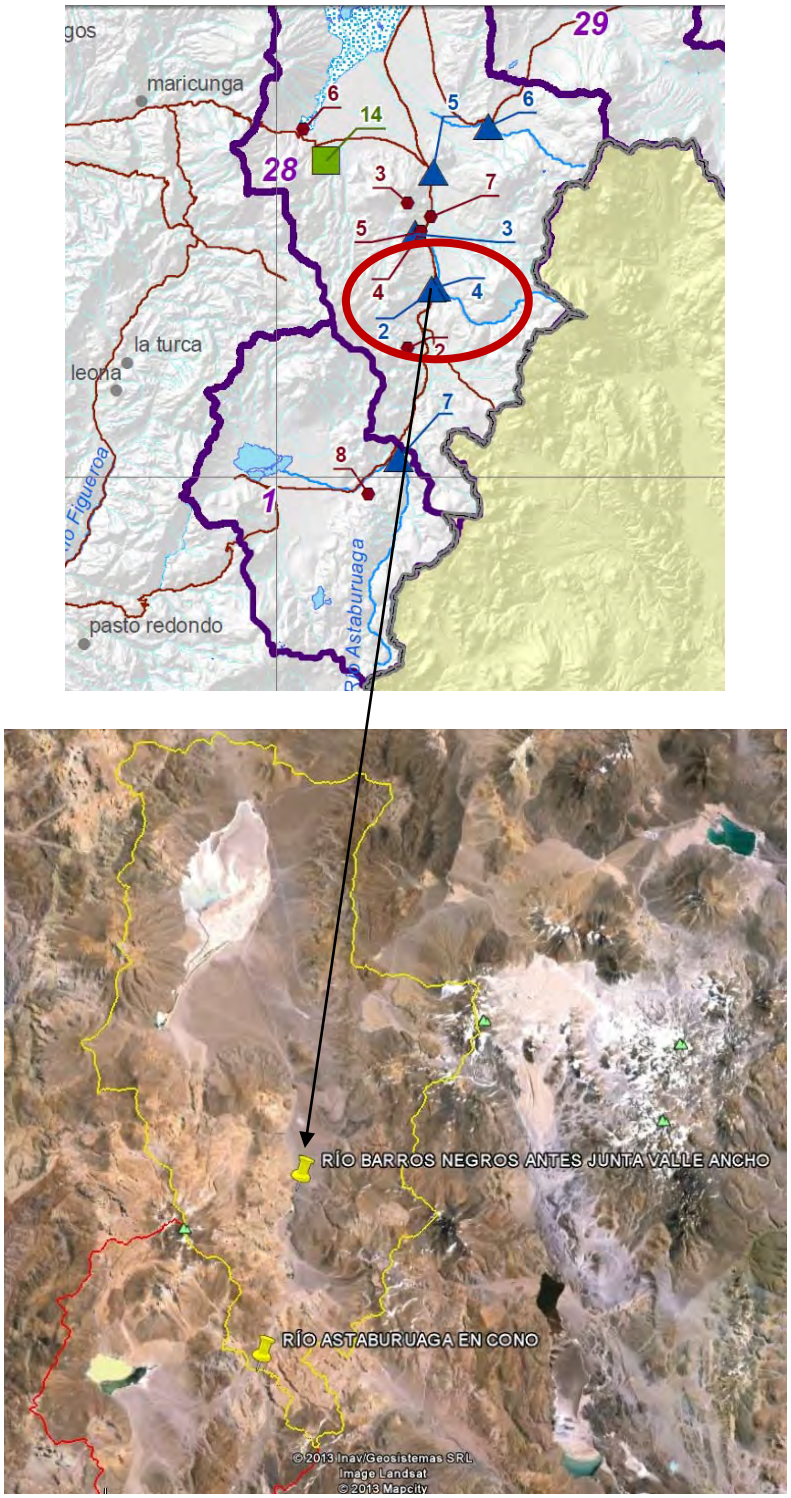
Los principales problemas que presenta esta estación son los siguientes:

- La observación de las condiciones actuales de la estación permite establecer una limitación fundamental para esta estación, y se refiere al inconveniente de estar bastante expuesta al congelamiento, especialmente durante la noche. Al estar ubicada a una cota de 4.295 msnm, las bajas velocidades del agua en esta sección, favorecen esta situación. El ancho de la sección de aforo es de aproximadamente 5 m, lo que genera profundidades bajas de escurrimiento en los períodos estivales, que también hace más fácil el congelamiento.
- Se observaron malas condiciones de mantenimiento de ambos muros del canal de aforo, con armadura a la vista, y recubrimiento de hormigón desprendido de la estructura, especialmente en la base interior del muro derecho.
- Sección de aforo muy amplia para los bajos caudales que por allí escurren, lo que provoca problemas en la medición para alturas de agua muy bajas.
- Fondo del lecho natural en la sección de aforo es poco homogéneo y cambiante, lo que también provocará medidas de caudal no del todo correctas.

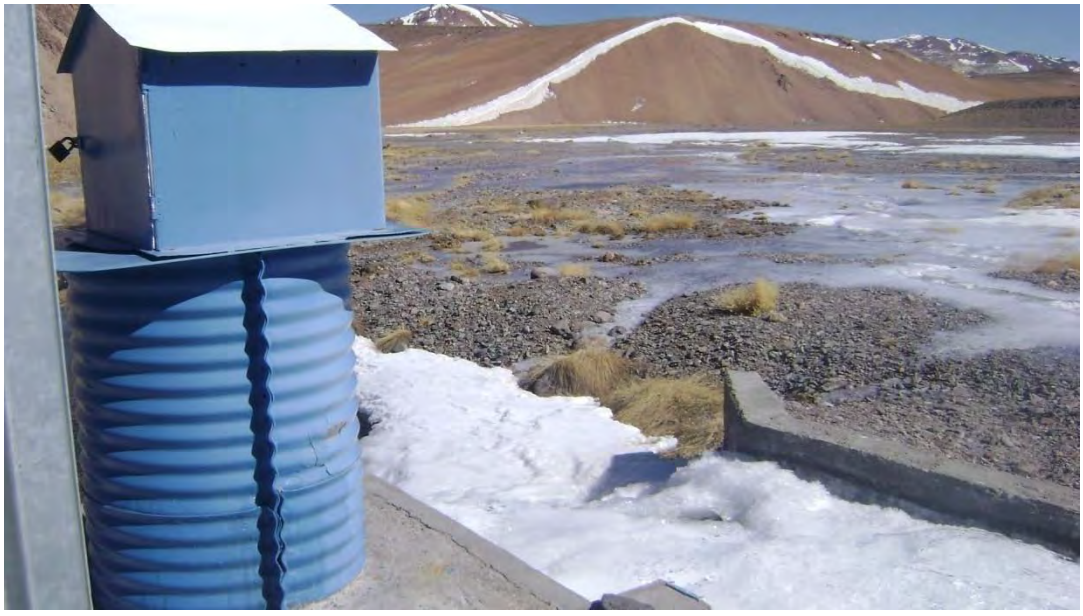
14.3.2. Río Barros Negros Antes Junta Valle Ancho

En la Figura 14.3-2 se muestra la ubicación de la estación fluviométrica.

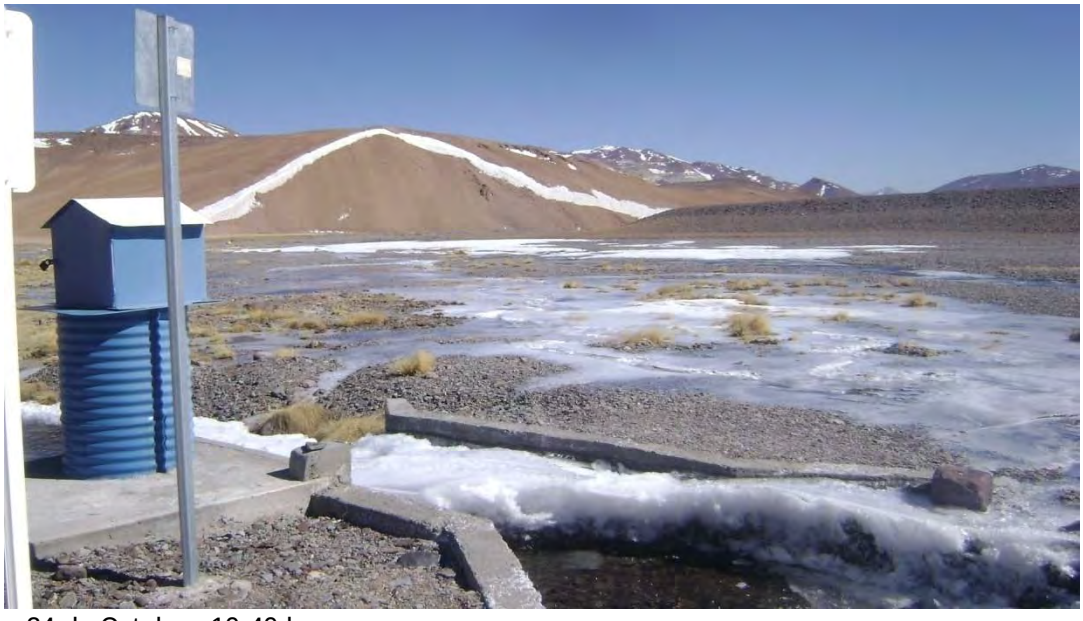
FIGURA 14.3-2
UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA
RÍO BARROS NEGROS ANTES JUNTA VALLE ANCHO



A continuación se muestran algunas fotografías de la estación fluviométrica río Barros Negros antes Junta Valle Ancho.



24 de Octubre, 10:40 hrs.



24 de Octubre, 10:40 hrs.

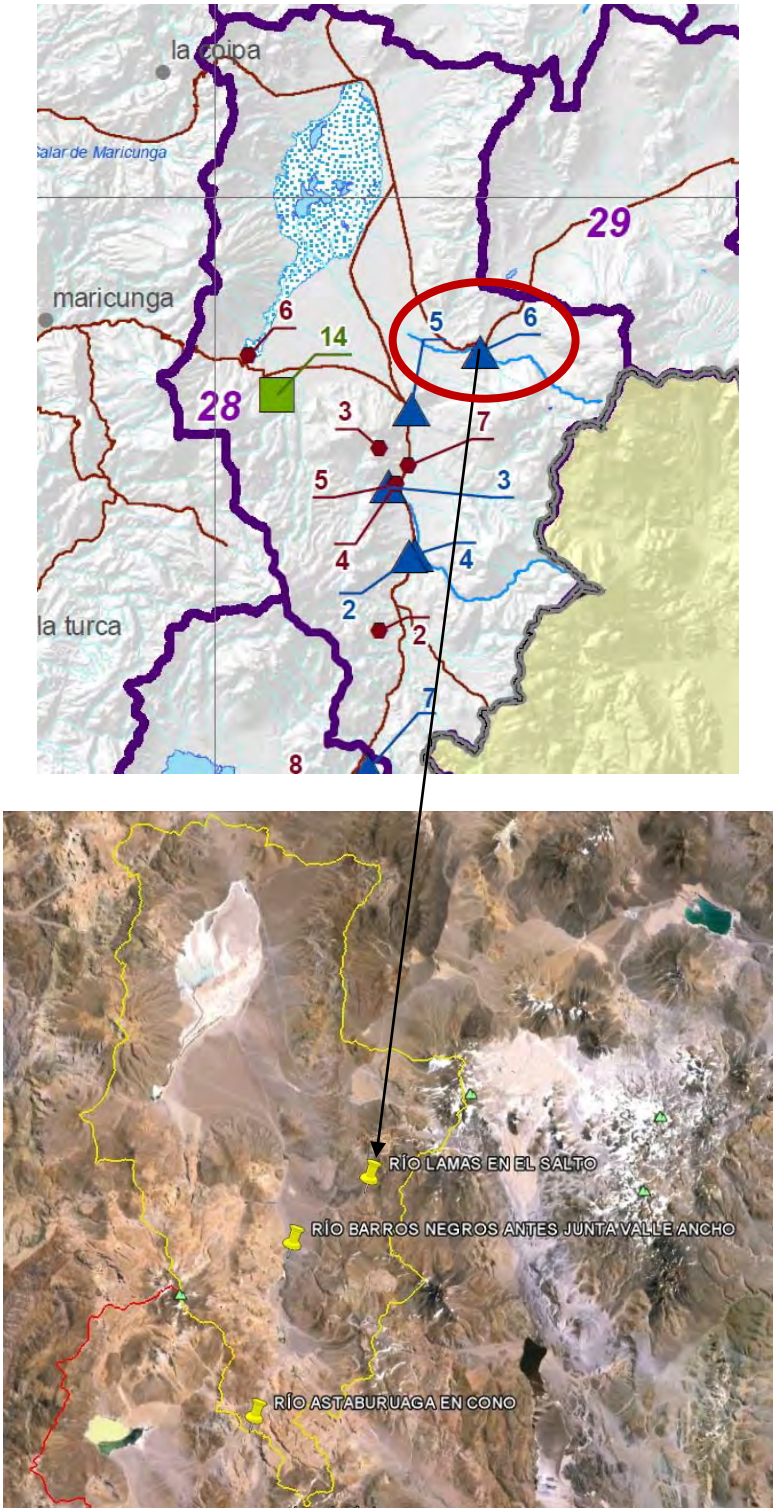
Los principales problemas que registra esta estación son:

- La estación no controla todo el caudal pasante por la sección, pues se observó un ramal del cauce principal, unos metros a la derecha de esta estación, el cual no es medido. En general, en esta parte, el cauce no fluye en forma concentrada, de manera que se puede decir que esta estación no se encuentra bien ubicada.
- Muros con enfierradura a la vista.
- Limnímetro no está ubicado en el canal de sección rectangular, sino en la sección trapecial de aguas arriba, donde el cambio de anchura impide una estabilización de la profundidad del flujo en la zona de entrada. El limnímetro debiera ubicarse en la sección de mayor estabilización de la profundidad del flujo, en la sección rectangular de aforo.

14.3.3. Río Lamas en El Salto

En la Figura 14.3-3 se muestra la ubicación de la estación fluviométrica.

FIGURA 14.3-3
UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA
RÍO LAMAS EN EL SALTO



A continuación se muestran algunas fotografías de la estación fluviométrica río Lamas en el Salto.



24 de Octubre 2013, 18:00 hrs



24 de Octubre 2013, 18:00 hrs



24 de Octubre 2013, 18:00 hrs



24 de Octubre 2013, 18:00 hrs

Los principales problemas que registra esta estación son:

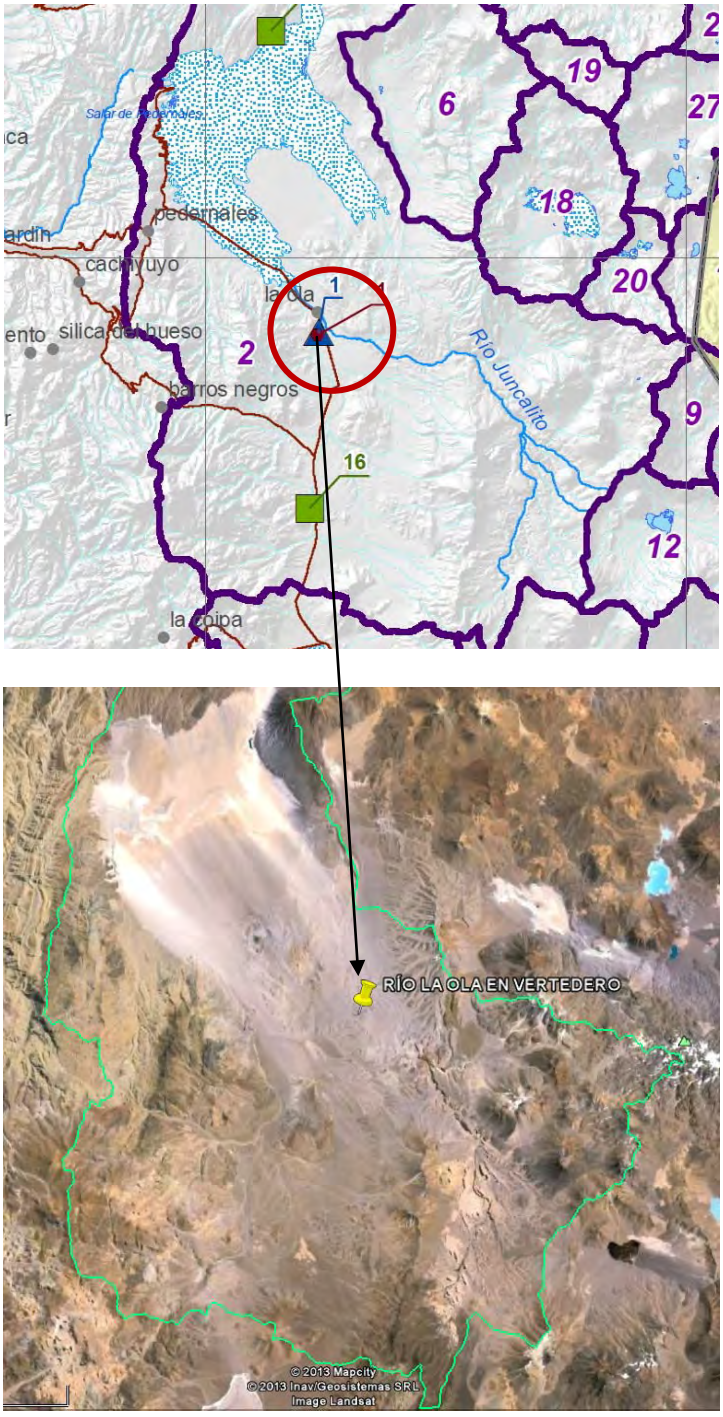
- Se puede señalar que esta estación es la que presenta el mejor estado y las mejores condiciones para el control del caudal pasante, en comparación al resto de las estaciones fluviométricas observadas. Se observa un flujo bastante parejo a lo ancho del canal de aforo, con una profundidad de escurrimiento de 26 cm (23 de Octubre 2013, 18:00 hrs.).

- El principal problema tiene que ver con la gran acumulación de algas en la sección de aproximación a la estación, que genera flujos preferenciales a lo ancho del canal de aforo, con la consecuente mayor dificultad y alteración de las mediciones.

14.3.4. Río La Ola en Vertedero

En la Figura 14.3-4 se muestra la ubicación de la estación fluviométrica.

FIGURA 14.3-4
UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA
RÍO LA OLA EN VERTEDRO



A continuación se muestran algunas fotografías de la estación fluviométrica río La Ola en Vertedero.



22 de Octubre 2013, 9:25 hrs



22 de Octubre 2013, 9:25 hrs



22 de Octubre 2013, 9:25 hrs



22 de Octubre 2013, 9:25 hrs

Esta estación presenta los siguientes problemas:

- Vegetación acuática, inmediatamente aguas arriba de la sección, genera un flujo de entrada preferencialmente concentrado en el lado izquierdo de la sección.
- Mal estado del muro izquierdo del canal de aforo, especialmente en la base del muro, y acentuado en la sección de salida del canal. Probablemente el flujo

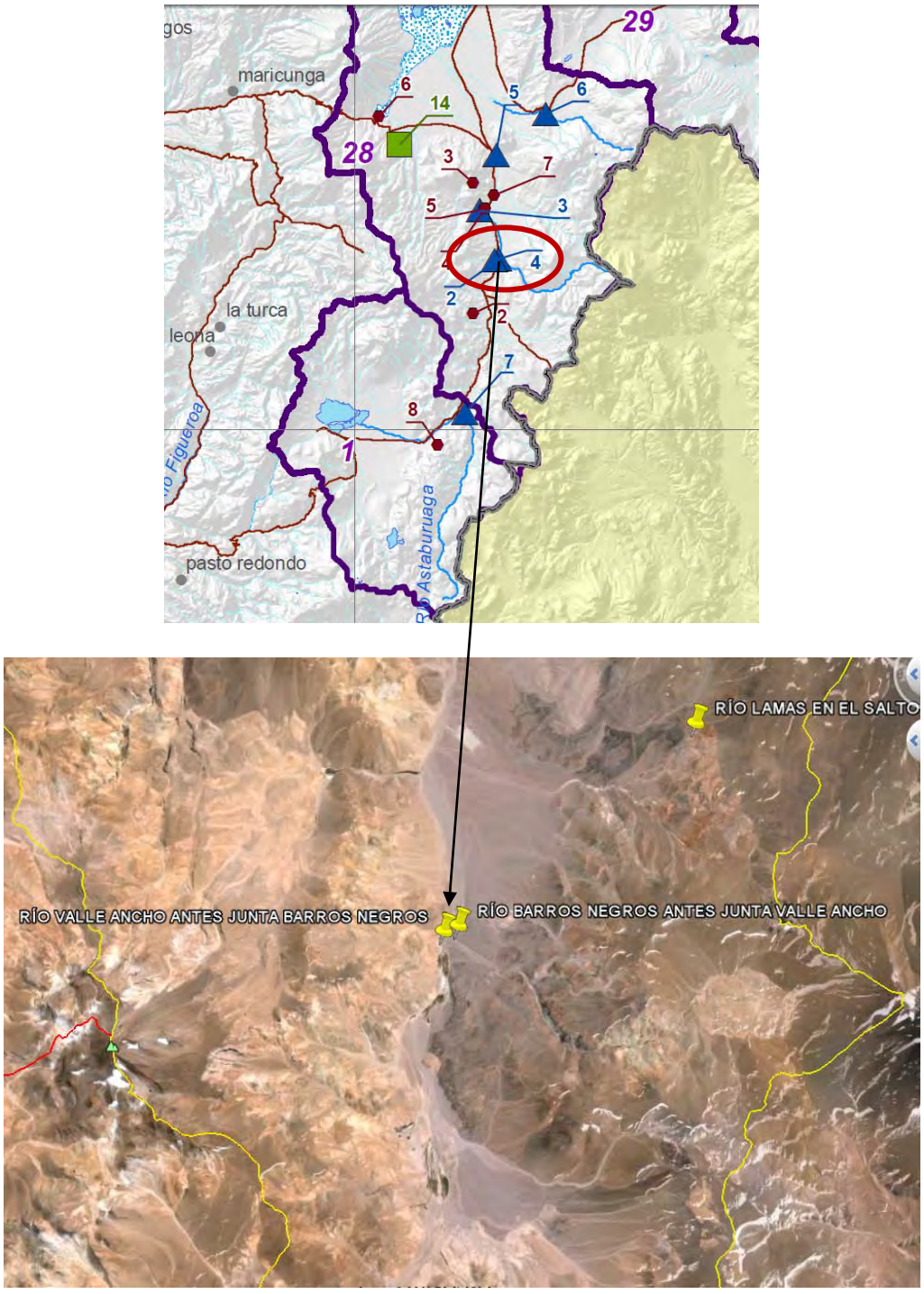
preferencial por este lado, genera mayor capacidad erosiva sobre las paredes del canal.

- Geometría irregular a la entrada de la sección de aforo

14.3.5. Río Valle Ancho Antes Junta Barros Negros

En la Figura 14.3-5 se muestra la ubicación de la estación fluviométrica.

FIGURA 14.3-5
UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA
RÍO VALLE ANCHO ANTES JUNTA BARROS NEGROS



A continuación se muestran algunas fotografías de la estación fluviométrica río Valle Ancho Antes Junta Barros Negros.



24 de Octubre 2013, 9:40 hrs



24 de Octubre 2013, 9:40 hrs



24 de Octubre 2013, 9:40 hrs



24 de Octubre 2013, 9:40 hrs

Los principales problemas que se presentan en esta estación son los siguientes:

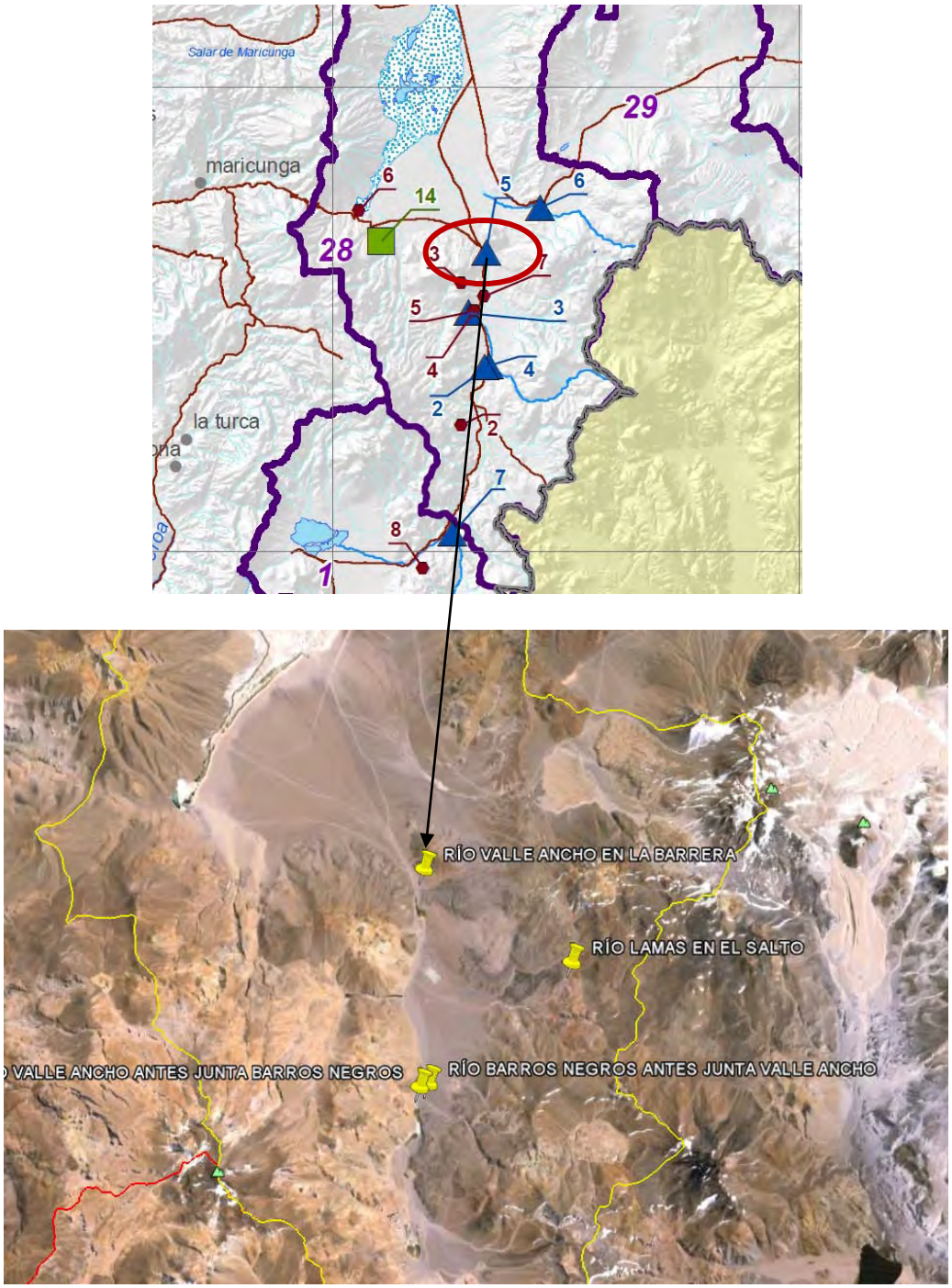
- El flujo se concentra en la zona central del canal de aforo, por el direccionamiento del flujo impuesto por los muros laterales de aguas arriba. Se sugiere redondear la transición entre los muros de entrada y los muros del canal de aforo.

- El canal de aforo en la parte angosta es demasiado corto, no permitiendo una minimización del efecto de concentración de flujo señalado anteriormente.
- La baja profundidad del flujo (el día 23 de Octubre de 2013 a las 10:40 hrs. se midió una profundidad de 12 cm) genera mayor error porcentual en los aforos.
- Acumulación de sedimentos en la entrada de la sección de aforo.
- Muros de hormigón deteriorados con armadura a la vista.
- Regla limnimétrica muy próxima al cambio de sección, lo que produce alteraciones en las alturas de agua que se miden.

14.3.6. Río Valle Ancho en la Barrera

En la Figura 14.3-6 se muestra la ubicación de la estación fluviométrica.

FIGURA 14.3-6
UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA
RÍO VALLE ANCHO EN LA BARRERA



A continuación se muestran algunas fotografías de la estación fluviométrica río Valle Ancho en La Barrera.



24 de Octubre, 11:40 hrs



24 de Octubre, 11:40 hrs



24 de Octubre, 11:40 hrs



24 de Octubre, 11:40 hrs

- Sección del canal de aforo es muy angosta (37 cm). Este canal tiene una profundidad máxima de 0,5 metros, que probablemente se vea sobrepasada durante los períodos de mayores caudales, pasando a partir de esa profundidad, a un canal de ancho de 2,8 metros de ancho. Se entiende que el canal menor es para medir en aquellos períodos de menor caudal, y el canalón más ancho es para las mediciones que se hacen en períodos de mayor caudal.

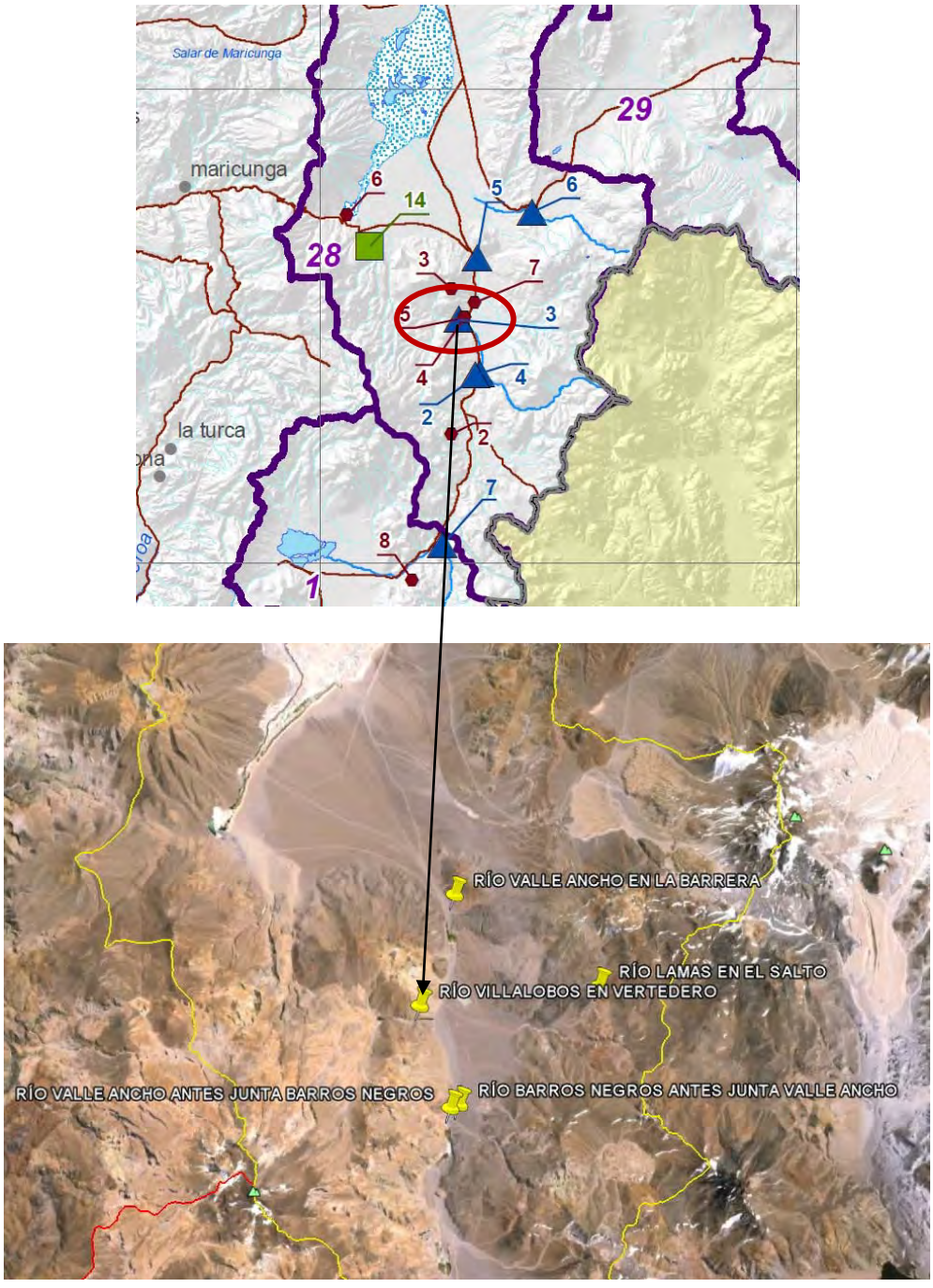
No obstante, lo señalado significará una discontinuidad en la curva de descarga.

- Muros en mal estado, con enfierradura a la vista.
- Canal de ancho mayor, sobre canal de aforo, tiene piedrecillas y sedimentos en su lecho, lo que produce mediciones poco confiables cuando el agua escurre por esa sección mayor.

14.3.7. Río Villalobos en Vertedero

En la Figura 14.3-7 se muestra la ubicación de la estación fluviométrica.

FIGURA 14.3-7
UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA
RÍO VILLALOBOS EN VERTEDERO



A continuación se muestran algunas fotografías de la estación fluviométrica río Villalobos en Vertedero.



24 de Octubre, 11:40 hrs.



24 de Octubre, 11:40 hrs.



24 de Octubre, 11:40 hrs.



24 de Octubre, 11:40 hrs.

Los principales problemas de esta estación son los siguientes:

- La pequeña profundidad de escurrimiento (se observó una profundidad de 15 cm (24/10/2013, 11:409 hrs)) genera mayor error porcentual en los aforos. Se debería considerar disminuir el ancho de la sección, para aumentar esta profundidad.

- El limnímetro no debiera ubicarse en la sección de descarga, porque allí las profundidades de escurrimiento son aún menores y además está influenciado por la descarga (altura de aguas poco estable). Se debiera considerar cambiar de posición la regla limnimétrica hacia el inicio del canal, en una sección donde la profundidad de escurrimiento se hace más estable.
- El flujo torrencial ha erosionado la base de los muros al final del canal de descarga.
- Como observación final hay que señalar que si bien esta estación no está ubicada en una sección demasiado encajonada de la quebrada, observando pequeños flujos no controlados por un costado de la estación de aforo, en términos generales, esta sección controla prácticamente la totalidad del caudal superficial que escurre por la quebrada.

a) Conclusiones del Diagnóstico

En general, los principales problemas que afectan el normal funcionamiento de las 7 estaciones fluviométricas ubicadas en el área de interés son:

- La continuidad de las mediciones se ve afectada por las condiciones climáticas, que producen durante extensos períodos el congelamiento de parte o de la totalidad del flujo de agua.
- Adicionalmente, las condiciones climáticas extremas durante un largo período del año, provocan la imposibilidad de acceso a las estaciones.
- Deterioro en parte de la infraestructura de las estaciones.
- La altura donde se ubican las estaciones (entorno a los 4.000 msnm) acentúa la puna, lo que sumado al viento y al frío, influye en forma negativa en el personal encargado de recoger los datos in situ.
- Presencia de vegetación acuática en algunas de las estaciones; ello genera una distorsión en la curva de aforo.
- En el caso de la estación Barros Negros Antes Junta Valle Ancho, ésta no controla todo el caudal pasante por la sección, ya que se observó un ramal importante del cauce principal que no es medido.

14.4. Proposición de Instalación de Estaciones Pluviométricas

14.4.1. Ubicación de Nuevas Estaciones Pluviométricas

a) Selección de Posible Ubicación de Nuevas Estaciones Pluviométricas

Durante el desarrollo del estudio de la referencia 2 (Dictuc, SIT Nº 157, 2008), se procedió a la instalación de 12 estaciones entre las regiones I, II y III; en particular, en la III Región se instalaron 5 estaciones pluviométricas, 4 en el área específica de interés y una en la región de Antofagasta (estación Pajonales). En el Cuadro 14.4-1 se incluyen las 5 estaciones señaladas.

CUADRO 14.4-1
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS INSTALADAS
EN ESTUDIO DICTUC 2008 (ref. 2)

Nº	Nombre	Coordenadas (WGS 84)	
		Norte (m)	Este (m)
1	PAJONALES	7.216.894	512.071
2	MARICUNGA	7.000.019	486.140
3	PEDERNALES NORTE	7.108.471	488.120
4	PEDERNALES SUR	7.048.661	492.870
5	AGUA AMARGA	7.178.629	515.637

El criterio para la ubicación de estas 5 estaciones fue que se situaran espacialmente integrando la banda altiplánica o de cuencas endorreicas, a la distribución que a la fecha tiene instalada la DGA en la zona.

Una vez instaladas las 5 estaciones anteriores, estas fueron medidas sólo entre los meses de Octubre de 2007 y Octubre de 2008; la razón del porqué no se siguieron midiendo radicó, al parecer, de falta de personal.

En términos generales, no hay un criterio único que ayude a decidir acerca del número y ubicación apropiado para el monitoreo (de precipitación, por ejemplo) en una cuenca. Principalmente, los sitios para colectar datos debiesen ser escogidos porque representan una condición climática o hidrológica distintiva dentro de la cuenca.

Es claro que un mayor número de estaciones con datos confiables permitirá tener mejores interpretaciones de la variabilidad espacial del parámetro meteorológico en cuestión, así como mejores conclusiones respecto a otras variables relacionadas, sin

embargo, existe un límite práctico para los datos que se pueden obtener debido a condiciones físicas, económicas u otro tipo de limitaciones.

A diferencia de las cuencas de la mayor parte de nuestro país, las lluvias en esta zona son de origen convectivo (provenientes de zonas tropicales, con ocurrencia estival) y presentan en general duraciones menores e intensidades mayores a las de origen frontal. Esto hace que en varios casos dos estaciones ubicadas a la misma cota, aún cuando estén separadas por pocos kilómetros, presenten correlaciones medias a bajas. Este efecto se hace más notorio si se considera las laderas opuestas de las cuencas endorreicas separadas por mesetas ocupadas por lagunas, salares y/o zonas desiertas.

Las estaciones deben ser construidas en lugares ocultos a la vista de transeúntes que circulan por los caminos habilitados, con el fin de evitar posibles actos de vandalismo. No obstante, la accesibilidad en vehículo se debe considerar como un criterio primordial para la elección de un determinado sitio.

En definitiva, en la elección de los lugares donde instalar estaciones pluviométricas, debiera primar los siguientes criterios básicos:

- Que se localicen en sectores donde no se cuente con información de precipitaciones (en las 34 cuencas altoandinas que se estudian, no existe ninguna estación pluviométrica, salvo las que instaló la PUC, pero que sólo fueron medidas durante un año).
- De fácil acceso en vehículo.
- Que se localicen a una altura bajo la línea de nieves (4.500 msnm isoterma cero)
- Que se ubiquen, en lo posible, en lugares ocultos a transeúntes.
- Es conveniente instalar estaciones pluviométricas en el mismo sitio donde estén ubicadas también estaciones fluviométricas, para minimizar las dificultades de acceso hacia nuevas instalaciones.

Por otro lado, existían 3 estaciones de la DGA que están suspendidas, a saber:

CUADRO 14.4-2
ESTACIONES DGA EN ÁREA ESPECÍFICA SUSPENDIDAS

Nombre	Código BNA	Suspendida	Coordenadas UTM WGS 84	
			Norte (m)	Este (m)
Maricunga Retén	03041010-6	17/01/2007	7.031.438	493.376
Azufrera Codocedo	03440001-6	23/11/2006	7.032.006	478.471
Campamento Flamenco	03041009-2	23/11/2006	6.992.459	500.495

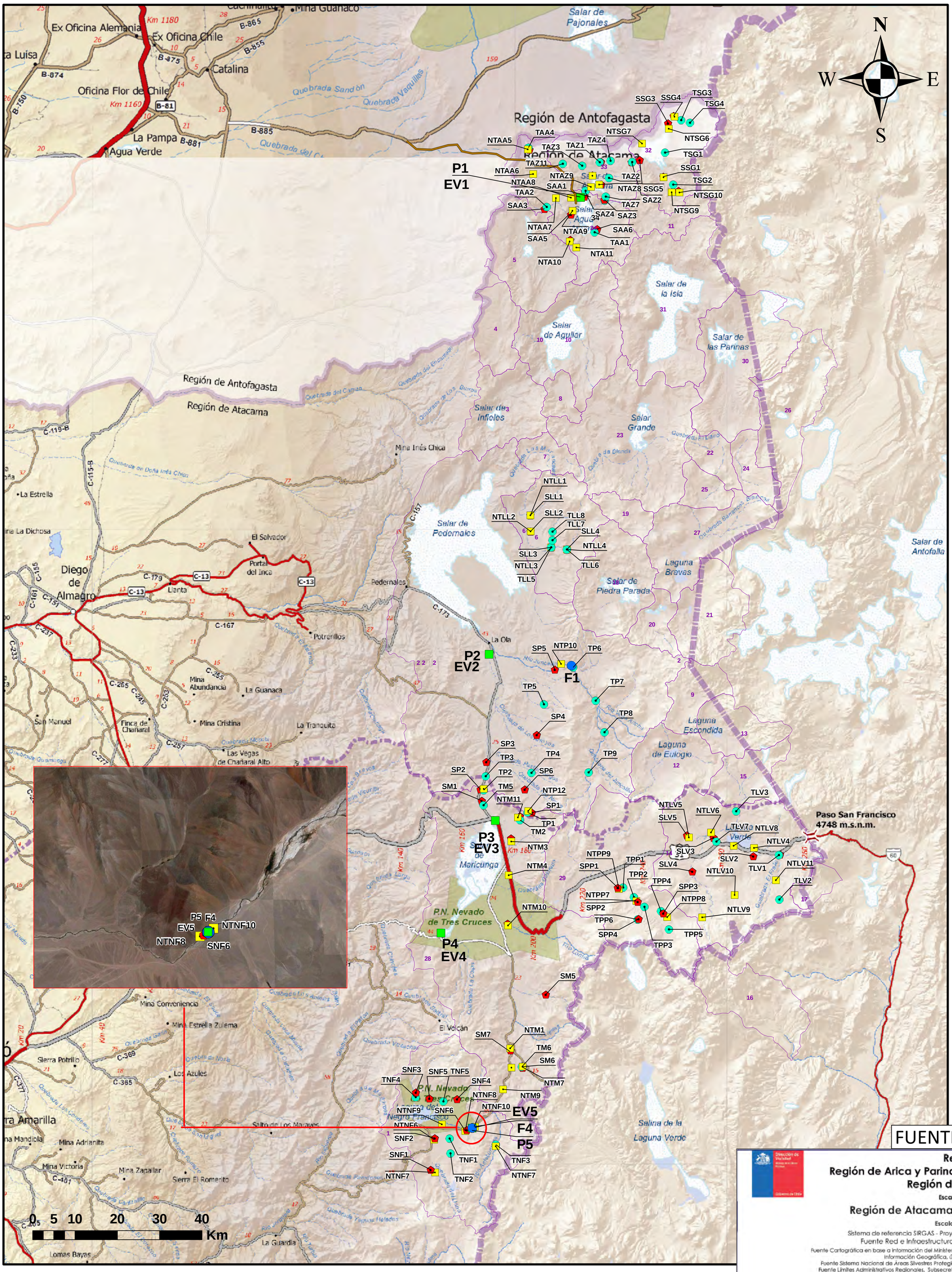
De acuerdo con lo señalado precedentemente, tomando en cuenta además las visitas a terreno efectuadas, e intentando una distribución de las estaciones homogénea en la zona de estudio, las estaciones pluviométricas que se propone instalar son las siguientes.

CUADRO 14.4-3
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS PROPUESTAS INSTALAR

Nº	Nombre	Coordenadas (WGS 84)		Cota (msnm)
		Norte (m)	Este (m)	
P1	Agua Amarga	7.178.629	515.637	3.588
P2	La Ola en Vertedero	7.070.582	494.002	3.588
P3	Maricunga Retén	7.031.281	495.457	3.808
P4	Laguna Santa Rosa	7.004.636	482.586	3.776
P5	Astaburuaga en Cruce	6.958.536	489.987	4.238

La ubicación de las estaciones propuestas se muestra en la Figura 14.4-1. En dicha figura se muestran además los caminos existentes según información SIG Vialidad 2013, complementado con los caminos que aparecen en las Rutas Camioneras del Turistel.

Es importante destacar que el tipo de estaciones pluviométricas propuestas son capaces de medir indistintamente precipitación líquida (lluvia) y sólida (nieve). En puntos más adelante se explica el tipo de instrumento señalado.



Simbología

- P3 / EV3 — Estaciones Pluviométricas y Evaporimétricas Propuestas
- F2 — Estaciones Fluviométricas Propuestas
- Cuencas Alto Andino
- 34 — Identificador Cuencas Alto Andino

Piezómetros

- Nano TEM
- Piezómetro
- TEM

ID	NOMBRE CUENCA
1	Laguna del Negro Francisco
2	Salar de Pedernales
3	Salar de Infieles
4	Cerro el Encanche
5	Cerro Blanco
6	La Laguna
7	Qda. Los Maranceles
8	Cerro Conito de los Infieles
9	Sierra Nevada
10	Salar de Aguilar
11	Qda. La Rossa
12	Wheelwrigth
13	Laguna Escondida
14	Laguna Verde
15	Qda. Las Amarillas
16	Cerro Agua Caliente
17	Cerro Nevado de Incahuasi
18	Salar de Piedra Parada
19	Cerro Agua de Morales
20	Lagunas del Jilguero
21	Laguna del Bayo
22	Qda. El llano
23	Salar Grande
24	Qda. la Trinchera
25	Laguna de las Parinas
26	Laguna de Colorados
27	Lagunas Bravas
28	Salar de Maricunga
29	Piedra Pómez
30	Salar de las Parinas
31	Salar de la Isla
32	Salar de Gorbea
33	Salar de la Azufrera
34	Salar de Agua Amarga

FUENTE RED VIAL

Estaciones Fluviométricas Propuestas				
ID	Nombre Estación	Coordenadas		Cota (msnm)
		Norte_WGS84	Este_WGS84	
F1	Río Juncalito Bajo Confluencia	7.067.903	513.431	3.920
F2	Río Astaburuaga en Cruce	6.958.536	489.987	4.238

Estaciones Pluviométricas-Nivométricas Propuestas				
ID	Nombre Estación	Coordenadas		Cota (msnm)
		Norte_WGS84	Este_WGS84	
P1	Agua Amarga	7.178.629	515.637	3.588
P2	La Ola en Vertedero	7.070.582	494.002	3.588
P3	Maricunga Retén	7.031.281	495.457	3.808
P4	Laguna Santa Rosa	7.004.636	482.586	3.776
P5	Astaburuaga en Cruce	6.958.536	489.987	4.238

Nota: El tipo de estación propuesta mide indistintamente lluvia y nieve

Estaciones Evaporimétricas Propuestas				
ID	Nombre Estación	Coordenadas		Cota (msnm)
		Norte_WGS84	Este_WGS84	
EV1	Agua Amarga	7.178.629	515.637	3.588
EV2	La Ola en Vertedero	7.070.582	494.002	3.588
EV3	Maricunga Retén	7.031.281	495.457	3.808
EV4	Laguna Santa Rosa	7.004.636	482.586	3.776
EV5	Astaburuaga en Cruce	6.958.536	489.987	4.238

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR: AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO: DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
1:500.000	14.4-1	DICIEMBRE 2013	ESTACIONES PLUVIO-NIVOMÉTRICAS, FLUVIOMÉTRICAS, PIEZÓMETRO, GEOFÍSCA (TEM Y NANO TEM) PROPUESTAS

Para llegar en vehículo a cada una de las estaciones, el recorrido debiera ser como sigue:

- **Estación Agua Amarga:** el acceso a la estación Agua Amarga se puede hacer desde Tal Tal, tomar la ruta 5 Norte hasta el sector de Ruinas Britania; doblar a la derecha por camino secundario de tierra por aproximadamente 130 km.

Estación Pluviométrica Propuesta, Agua Amarga



- **Estación La Ola en Vertedero:** se accede desde la localidad de Diego de Almagro por la ruta Montandón Pedernales, llegando al campamento La Ola.

Estación Pluviométrica Propuesta, La Ola en Vertedero



Sector a Instalar la Estación La Ola en Vertedero



- **Estación Maricunga Retén:** desde Copiapó tomar ruta CH-31 hacia el Noreste. La estación se ubicará en el km 170, en el cruce con la ruta C-173. Este sector corresponde al último control aduanero antes del Paso San Francisco hacia Argentina.

Estación Pluviométrica Propuesta, Maricunga Retén



Sector a Instalar la Estación Maricunga Retén



- **Estación Laguna Santa Rosa:** a esta estación se accede fácilmente desde el Retén en Maricunga; se ubica a 36 km aprox. al Sur del retén. Existe un refugio de Conaf.

Estación Pluviométrica Propuesta, Laguna Santa Rosa



Sector a Instalar la Estación Laguna Santa Rosa



Cercano al refugio se pudo apreciar una estación meteorológica que pertenece a una empresa particular (SBX Consultores Ltda.).

Estación Meteorológica Cerca Refugio Conaf,
de Propiedad de SBX C0nsultores Ltda.



- **Estación Astaburuaga en Cruce:** desde Copiapó tomar ruta CH-31 hacia el Noreste. En el km 180 doblar a la derecha para tomar la ruta C-341. Recorridos 18 km, doblar izquierda por ruta de ripio por aproximadamente 73 km. Se llega a un cruce con otro camino en el sector denominado Nevado Tres Cruces, donde se debe doblar a la derecha por aproximadamente 65 km llegando al sector de la estación propuesta.

Estación Pluviométrica Propuesta, Astaburuaga



Sector a Instalar la Estación Astaburuaga en Cruce



Es importante destacar que los nuevos equipos que se instalen debiesen operar en forma lo más autónoma y automática posible, debido principalmente a las dificultades de acceso a estos lugares y a recomendaciones dadas por profesionales de la DGA Región de Atacama.

Igualmente es necesario recordar, la persistencia de las temperaturas bajo cero, en estos parajes. Durante la reciente visita a terreno efectuada, se registraron temperaturas de -8 ºC en la noche. En invierno, la temperaturas nocturnas en Maricunga pueden llegar a -20ºC. De manera, que los instrumentos deben considerar estos hechos. En esta misma cuenca de Maricunga, en algunos tramos de caminos se pueden visualizar varillas de por lo menos 3 m de alto a los lados del camino, lo que se traduce en una gran cantidad de nieve que cae en esa zona.

VARILLAS PARA NIEVE EN SECTOR DE MARICUNGA



El camino entre Laguna Santa Rosa y Laguna del Negro Francisco, tiene algunos tramos complicados, por la presencia de nieve al borde del camino, que al derretirse genera mucho barro en algunos tramos.

Eventualmente este acceso podría quedar interrumpido, especialmente durante el invierno, debiendo llegar a la Laguna del Negro Francisco y al río Astaburuaga, únicamente desde Copiapó, por camino Tierra Amarilla.

14.4.2. Instrumentación

Se ha contemplado que la estación pluviométrica propuesta, permita además medir temperatura y humedad del aire. Los instrumentos necesarios son los siguientes:

- Datalogger
- OTT Pluvio^2
- Sensor de Temperatura y Humedad del Aire
- Batería
- Panel Solar y Regulador
- Transmisión Instantánea de Datos

Dado los problemas inherentes que se presentarán las estaciones pluviométricas propuestas, tales como imposibilidad de ir a recolectar datos durante los meses cuando se producen las nevadas y los caminos están intransitables, puna, etc., es que se ha creído conveniente proponer la instalación de estaciones pluviométricas que cuenten con un sistema de transmisión de datos instantáneos, del mismo modo que ocurre con muchas de las estaciones fluviométricas que maneja la DGA. En el siguiente punto se explica con más detalle lo referente a la transmisión instantánea de datos.

Los costos del pluviómetro se incluyen en el Cuadro 14.4-5; el detalle se incluye en el Anexo 14-3, Cotizaciones.

CUADRO 14.4-5
COSTO SUMINISTRO ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA
(valores sin Iva, Nov. 2013)

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P.Unitario $	P.Total $
1	OTT Pluvio2	Un	1	3.010.000	**3.010.000**
2	Sistema Protección Contra Viento	Un	1	1.360.000	**1.360.000**
3	Transmisor Satcomm con Datalogger	Un	1	2.450.000	**2.450.000**
4	Sensor de Temperatura y Humedad	Un	1	825.000	**825.000**
5	Brazo para Montar Sensores	Un	1	115.000	**115.000**
6	Panel Solar 20 Watts	Un	1	225.000	**225.000**
7	Batería 12 Volts	Un	1	85.000	**85.000**
	Sub Total Equipo Estación Pluviométrica				**8.070.000**

2 Cierre

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P.Unitario $	P.Total $
1	Cerco Perimetral con Malla Acmafor 16 m; incluye portón	Gl	1,0	1.200.000	1.200.000
	Sub Total Cerco				**1.200.000**
				TOTAL $	**9.270.000**

El costo total de suministro por las 5 estaciones pluviométricas – nivométricas propuestas asciende a $ 46.350.000.-

14.5. Proposición de Instalación de Estaciones Fluviométricas

14.5.1. Selección de Posible Ubicación de Nueves Estaciones Fluviométricas

Tal cual fuera señalado anteriormente, en el área específica de interés se localizan 7 estaciones fluviométricas que están hoy operativas. Estas 7 estaciones disponen de una sección de aforo de hormigón, regla limnimétrica y caseta de registros en papel milimetrado.

Durante el mes de Octubre del 2013 se tuvo una reunión con don Ismael Pastén del Dpto. de Hidrología de la DGA Nivel Central. Dentro de las recomendaciones respecto a las características que debieran tener estaciones fluviométricas ubicadas en las cuencas endorreicas de la III Región, señaló las siguientes:

- La sección de aforo debe tener incorporado un canalón para medir las aguas de estiaje, el cual debe calcularse para el caudal máximo de estiaje, y considerar una profundidad tal que evite que se produzca congelamiento; es decir, la curva de aforo resultante tendrá un quiebre (cuando las aguas sobrepasan la altura del canalón). En la siguiente fotografía se puede ver un ejemplo.

Ejemplo de Estación Fluviométrica Río Valle Ancho en la Barrera



- La entrada a la sección de aforo debiera considerar muros con taludes 1:1 de modo de posibilitar una mayor sensibilidad y precisión en la construcción de la curva de aforo y posterior mediciones de alturas de agua. De ese modo, la transición de entrada a la sección de aforo será bajo un régimen de aguas relativamente tranquilas, sin producir eventuales efectos adversos en las mediciones de las alturas de agua en la sección donde se instale la regla limnimétrica (líneas de velocidad paralelas al muro guía).
- El fondo del pozo donde se instala el sensor de medición de altura de agua, debe quedar 50 cm más bajo que el fondo de la sección de aforo.
- El área del pozo debe considerar un cómodo acceso de personal para las labores de desembanque u otra labor que podría ser requerida; en general bastaría con que fuera de 2 m de largo por 1 m de ancho.
- La ubicación del pozo coincide con la dirección del muro guía, y debe ubicarse próximo a su parte media.
- El pozo debe contener regla limnimétrica interior, escala de acceso, aducciones y regla limnimétrica exterior.
- La regla limnimétrica debe quedar empotrada en el muro de modo de evitar que origine turbulencias.

- El canal de la sección de aforo debe tener escurrimiento subrítico, con una pendiente hacia aguas debajo de un 0,3 %; transversalmente la pendiente hacia el muro guía debiera ser de un 1 %.
- La zona de la sección por donde pasará la crecida debe tener las mismas pendientes antes señaladas para el canal.
- Tanto en la entrada como en la salida de la sección de aforo se deben considerar fundaciones transversales que logren evitar que se produzca circulación de agua bajo el revestimiento; en la zona intermedia se deben considerar zapatas para el mismo propósito.

Dado los problemas inherentes que se presentan en las estaciones fluviométricas que se localizan en las cuencas de interés, tales como imposibilidad de ir a recolectar datos durante los meses cuando se producen las nevadas y los caminos están intransitables, puna, etc., es que se ha creído conveniente proponer la instalación de estaciones fluviométricas que cuenten con un sistema de transmisión de datos instantáneos.

Las estaciones propuestas se incluyen en el Cuadro 14.5-1 siguiente:

CUADRO 14.5-1
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS PROPUESTAS INSTALAR

N°	Nombre	Coordenadas (WGS 84)		Cota (msnm)
		Norte (m)	Este (m)	
F1	Río Juncalito Bajo Confluencia	7.067.903	513.431	3.920
F2	Río Astaburuaga en Cruce	6.958.536	489.987	4.238

En un comienzo se habían identificado otros 2 puntos como eventuales secciones de control de caudales en la cuenca del río Juncalito, estos dos puntos (identificados como AF-2 y AF-3 en los aforos realizados) tienen un difícil acceso, ya que la inexistencia de caminos obligan a remontar hasta la zona de interés utilizando el mismo cauce como camino (peligroso).

La sección de aforo ubicada en Río Juncalito Bajo Confluencia, sin embargo, es de fácil acceso, desde el Campamento La Ola, y presenta buenos características como sección de control de caudales.

Las estaciones propuestas río Astaburuaga en Cruce se proponen como alternativa a la actual estación Río Astaburuaga en Cono. Ésta última presenta un ancho en el canal de aforo cercano a 5 m, lo que sumado a las bajas velocidades de escurrimiento, la hacen especialmente propensa a congelamiento. La estación propuesta F2 se sitúa en una sección más encajonada, con profundidades de escurrimiento mayores, de manera que es menos propensa al congelamiento.

A continuación se muestran fotografías de los sectores donde se propone la instalación de nuevas estaciones fluviométricas.

RÍO JUNCALITO BAJO CONFLUENCIA



RÍO ASTABURUAGA EN CRUCE



La ubicación de las estaciones propuestas se muestra en la Figura 14.4-1 antes presentada.

14.5.2. Instrumentación

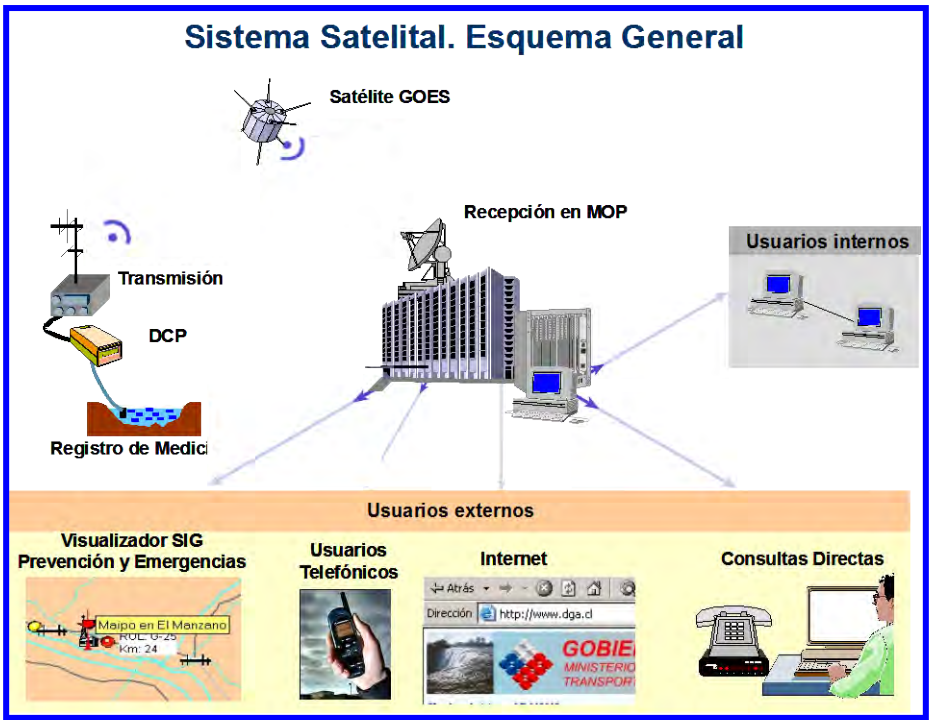
Básicamente, este sistema está conformado por los siguientes instrumentos:

- **Limnímetro**
- **Limnígrafo:** del tipo electrónico, que permita el monitoreo y registro de altura de agua en cada instante.
- **Sistema de conducción de lecturas instantáneas:** sistema que debe incluir la transmisión de datos de las lecturas efectuadas por el limnígrafo por radiotransmisión al satélite GOES, para luego ser recepcionado a la oficina de recolección de lecturas de caudales, la cual podría estar ubicada en las oficinas de la DGA Región de Atacama (si ello fuera factible técnicamente).

14.5.3. Sistema de Transmisión Instantáneo de Datos

La DGA ha ido implementado un proceso de automatización de redes de monitoreo, que permite entregar información en tiempo real a través de comunicación satelital de estaciones receptoras en las principales cuencas hidrográficas del país, entre la I y XII región. Un esquema del sistema satelital se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 14.5-1
SISTEMA SATELITAL. ESQUEMA GENERAL



El sistema consiste básicamente en lo siguiente:

- Plataforma Satelital Hidrológica (DCP), que incluye: Data Logger, Radio Transmisor, Antena Helicoidal, Panel Solar y Baterías Recargables.
- Sensor Transductor de Presión; instrumento que mide la altura de agua en el cauce
- Caseta Data Logger

La información que lee el sensor transductor de presión (altura de agua en la sección de aforo) es transformada a caudal a través de la curva de descarga de la sección correspondiente. Este dato se transmite a un satélite (satélite GOES, que es gratuito), el cual a su vez transmite el dato a las oficinas centrales de la DGA del MOP en Santiago. Así, se conoce el caudal en tiempo real de la estación fluviométrica correspondiente. Incluso a través de la página web www.dga.cl se tiene acceso a esa información (Servicios Satelitales en Tiempo Real) de 300 estaciones a lo largo del país.

14.5.4. Obras y Equipos Infraestructura Estación Satelital

La instalación de una estación satelital involucra también el emplazamiento de una serie de obras de apoyo, específicamente y de acuerdo con las recomendaciones dadas en el Departamento de Hidrología de la DGA, éstas son:

- Cámara Limnigráfica o Húmeda y obras anexas
- Plataforma satelital
- Caseta
- Cierre perimetral de seguridad

A continuación se describen las características de cada una de las obras antes indicadas:

- La cámara limnigráfica o húmeda a emplazar tiene como objetivo proporcionar un medio estable y seguro que permita la instalación del instrumento que mide las alturas de escurrimiento en la sección del estero (sensor transductor de presión). La cámara está comunicada al estero a través de tubos de acero.

- Caseta metálica para la instalación de los instrumentos y/o equipos que forman parte de la plataforma satelital.

- Cierre Perimetral con malla ACMAFOR de acero galvanizado (ribera izquierda), altura total aproximada 2,30 m (incluye brazo y cierre con alambre de púas). El cerco tendrá un perímetro de 16 m e incluye un portón de acceso.

- Instalación de Plataforma Satelital STEVENS.

14.5.5. Costos Estaciones Fluviométricas

En el cálculo de los presupuestos de cada una de las estaciones fluviométricas propuestas, se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

- Las dimensiones de las secciones de aforo de cada estación fueron estimadas según lo observado en terreno (no se dispone de topografía para una análisis más exacto); estas son las siguientes:

- Río Juncalito Bajo Confluencia: ancho= 3 m; Largo= 9 m; altura de muros= 1 m

- Río Astaburuaga en Cruce: ancho= 2 m; Largo= 6 m; altura de muros= 1 m

- Se consideraron alas de entrada y de salida en 45º de largo 2 m cada una.
- Los costos de las partidas se consideraron de acuerdo con proyectos similares que tiene este consultor. Los precios unitarios fueron aumentados debido a las dificultades inherentes del lugar donde se construirán las estaciones.
- Debido a que los caudales medios mensuales en las zonas no son muy variables durante el año (observando caudales medios mensuales de estaciones fluviométricas cercanas existentes), no se consideró un canalón menor para medir caudales muy bajos.
- El pozo donde irá el sensor de medición de alturas de agua fue considerado de una sección de 2 m x 1 m y una altura de 2 m
- Se consideraron reglas limnimétricas al interior del pozo y en la sección de aforo (empotradas).

En el Cuadro 14.5-2 se incluyen los costos que son comunes para cada estación, mientras que en los cuadros 14.5-3 a 14.5-6 se incluyen los costos de cada una de las secciones de aforo de cada estación. Finalmente en el Cuadro 14.5-7 se muestra un resumen de los costos de las estaciones fluviométricas propuestas.

CUADRO 14.5-2
COSTOS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS (TIPO). COMÚN PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES PROPUESTAS (Nov. 2013, Sin Iva)

1.- Equipo Estación Satelital con Transmisor

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P.Unitario $	P.Total $
1	Plataforma Satelital Stevens	Un	1,0	2.450.000	2.450.000
2	Sensor de Nivel OTT con Membrana Cerámica	Un	1,0	685.000	685.000
3	Panel Solar 20 Watts	Un	1,0	225.000	225.000
4	Batería 12 Volts	Un	1,0	85.000	85.000
	Sub Total Equipo Estación				**3.445.000**

2.- Estructura de Hormigón Cámara Limnigráfica (Pozo)

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P.Unitario $	P.Total $
1	Excavación con agotamiento	m^3	15,0	10.000	150.000
2	Hormigón H30	m^3	3,2	180.000	576.000
4	Acero calidad A44 - 28H	kg	224,0	1.500	336.000
5	Moldaje recto	m^2	24,0	30.000	720.000
	Sub Total Cámara Limnigráfica				**1.782.000**

3.- Caseta Dataloger

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P.Unitario $	P.Total $
1	Perfil L 40x40x5	kg	29	2.000	57.247
2	Perfil L 25x25x4	kg	9	2.000	18.390
3	Perfil L 50x50x6	kg	10	2.000	19.289
4	Pletina 25x4	kg	2	2.000	3.000
5	Acero A36 ϕ 12	kg	2	2.000	4.667
6	Plancha e=10	kg	10	2.000	19.000
7	Plancha e=8	kg	40	2.000	80.000
8	Plancha e=3	kg	16	2.000	31.852
9	Plancha e=2,5 mm	kg	77	2.000	154.260
10	Pernos ϕ 16x250	un	4	6.000	24.000
11	Pernos ϕ 8x30	un	11	6.000	66.000
12	Bisagras	un	4	2.500	10.000
	Sub Total Caseta				**487.704**

4.- Regla Limnimétrica Adosada en Interior del Pozo y en Sección de Aforo

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P.Unitario $	P.Total $
1	Regla Limnimetrica Acrilico de 1 m (1)	Un	2,0	100.000	200.000
2	Porta Regla (perfil de acero) de 1 m (1)	Un	2,0	30.000	60.000
3	Perfil Costanera (125x75x15) de 1,5 m	Un	2,0	30.000	60.000
	Sub Total Regla				**320.000**

5.- Cierre Perimetral

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P.Unitario $	P.Total $
	Cerco Perimetral con Malla Acmafor 16 m (1)	Gl	1,0	1.200.000	1.200.000
	Sub Total Cierre Perimetral				**1.200.000**
				SUBTOTAL 1	**7.799.704**

CUADRO 14.5-3
COSTO SECCIÓN DE AFORO
RÍO JUNCALITO BAJO CONFLUENCIA
(Nov. 2013, Sin Iva)

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P.Unitario $	P.Total $
1	Excavación con agotamiento	m³	20	10.000	197.426
2	Hormigón H30	m³	27	180.000	4.875.351
3	Acero calidad A44 - 28H	kg	1.896	1.500	2.843.955
4	Moldaje recto	m^2	52	30.000	1.560.000
	Sub Total Estructura de Hormigón Sección de Aforo				**9.476.732**

CUADRO 14.5-4
COSTO SECCIÓN DE AFORO
RÍO ASTABURUAGA EN CRUCE
(Nov. 2013, Sin Iva)

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P.Unitario $	P.Total $
1	Excavación con agotamiento	m³	11	10.000	108.284
2	Hormigón H30	m³	20	180.000	3.610.234
3	Acero calidad A44 - 28H	kg	1.404	1.500	2.105.970
4	Moldaje recto	m^2	40	30.000	1.200.000
	Sub Total Estructura de Hormigón Sección de Aforo				**7.024.488**

CUADRO 14.5-7
RESUMEN COSTOS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS PROPUESTAS
(Suministro y Construcción, Nov. 2013, sin Iva)

ESTACIÓN	COSTO ($)
JUNCALITO BAJO CONFLUENCIA	16.711.436
ASTABURUAGA EN CRUCE	14.259.192

14.6. Estaciones de Monitoreo de Niveles y Calidad Aguas Subterráneas

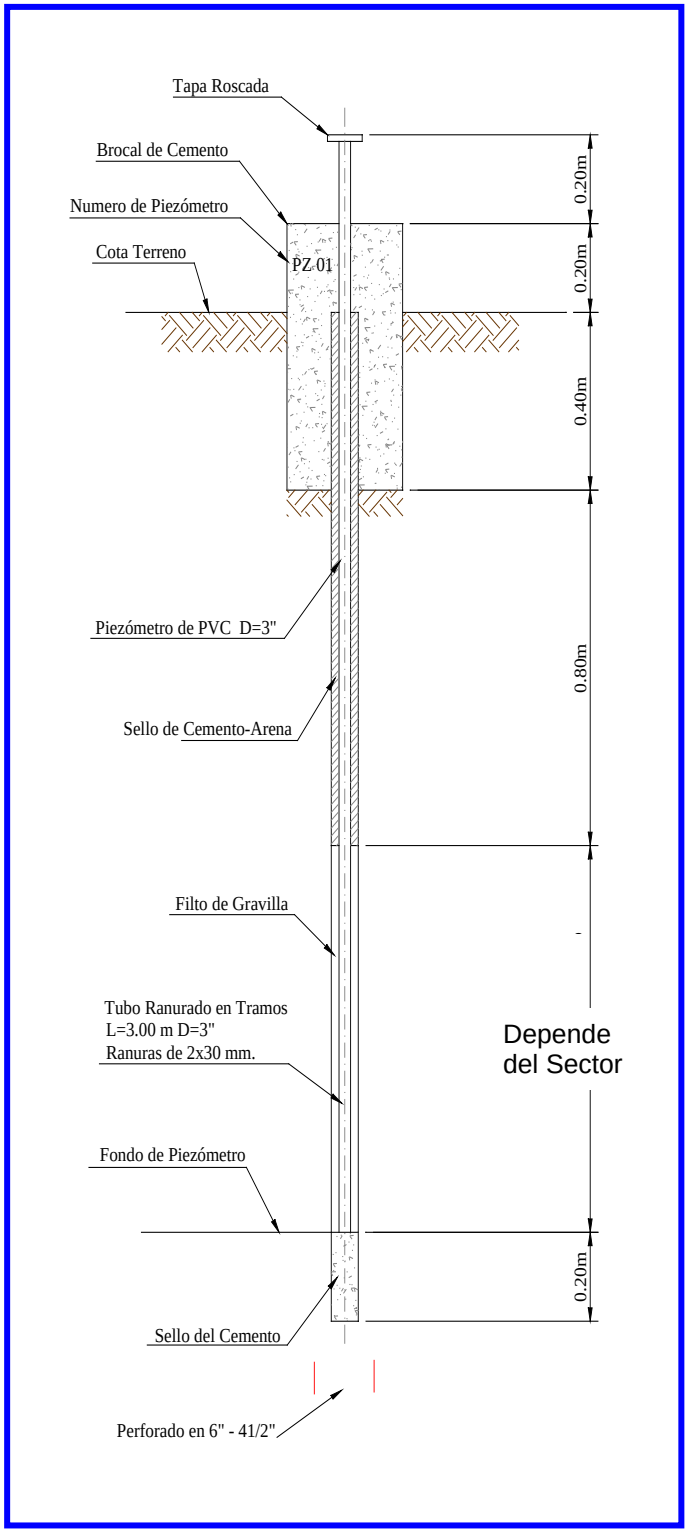
14.6.1. Estaciones de Monitoreo de Niveles de Aguas Subterráneas

Se ha contemplado la instalación de estaciones de monitoreo de aguas subterráneas correspondientes a la construcción de piezómetros según las siguientes directrices:

- Que se ubiquen cerca de un camino existente
- Donde no exista información de niveles de agua subterránea
- Piezómetros de 3", de profundidades variables, dependiendo de la profundidad de la napa existente.

Un esquema típico de un piezómetro se muestra a continuación.

FIGURA 14.5-2
ESQUEMA PIEZÓMETRO TIPO



El detalle de la ubicación y profundidad de los piezómetros propuestos por cuenca priorizada se incluyó en puntos anteriores.

El costo de un piezómetro de 100 m es de 27 millones de pesos, más IVA (ver Anexo 14-3, Cotizaciones); es decir, el costo por metro asciende a 270.000 $/m (sin IVA).

Así, el costo total de construcción de cada uno de los Piezómetros se incluye en el Cuadro 14.5-8.

CUADRO 14.5-8
COSTOS PIEZÓMETROS
(Nov. 2013, sin IVA)

Nº	Cuenca	Nº de Piezómetros	Profundidad Total (m)	Costo (Mill. $)
32	Salar de Gorbea	5	740	199,8
33	Salar de la Azufrera	6	810	218,7
34	Salar de Agua Amarga	6	840	226,8
6	La Laguna	4	620	167,4
2	Salar de Pedernales	6	720	194,4
14	Laguna Verde	5	630	170,1
29	Quebrada Nevados de Juncalito	4	640	172,8
28	Salar de Maricunga	7	740	199,8
1	Laguna del Negro Francisco	6	770	207,9
		49	**TOTAL**	**1.757,7**

La frecuencia de medición de niveles de agua subterránea debiera ser 3 veces año, Feb-Mar, Jun-Jul y Oct-Nov. En la Figura 14.4-1 se muestra la ubicación de cada uno de los piezómetros propuestos.

14.6.2. Monitoreo de Calidad de Aguas. Físico Química e Isotópica

En el plano 4-2 se incluyen los puntos de muestreos de calidad de agua recopilada en estudios anteriores; se puede ver que hay una importante cantidad de muestreos físico químicos efectuados en el área de interés.

a) Monitoreo de Calidad Físico Química

- **Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas**

De acuerdo con el estudio "Análisis y Valoración de la Funcionalidad de la Red Fluviométrica y Asignación de Derechos de Aprovechamiento, Anexo 1, Dirección de Planeamiento, Dic. 2006", los parámetros que la DGA mide en sus estaciones de calidad son los siguientes:

- Metales:

Aluminio
Arsénico
Boro
Cadmio
Cobalto
Cobre
Cromo
Hierro
Manganeso
Mercurio
Molibdeno
Niquel
Plata
Plomo
Selenio
Zinc

- Macroelementos

Bicarbonato
Calcio
Carbonato
Cloruros
Magnesio
Potasio
Sodio
Sulfatos

- Nutrientes

Amoníaco
Nitratos

Nitritos
Fosfatos
Fósforo Total

- Parámetros a Medir In Situ

Temperatura
pH
Conductividad Eléctrica
Oxígeno Disuelto

- Otros

DQO

La frecuencia de la toma de muestras debiera ser 3 veces al año:

- Feb-Mar
- Jun-Jul
- Oct-Nov

Los muestreos se debieran hacer en los nuevos piezómetros propuestos, o en su defecto, en algún pozo cercano al piezómetro propuesto que exista.

b) Monitoreo de Calidad Isotópica

En el Anexo 8-1 se puede consultar la información de isotopía de estudios anteriores con que se cuenta.

En la Ref. 2 (Dictuc-2005), se maneja información isotópica de aguas subterráneas correspondiente a 42 muestreos, mientras que en aguas superficiales se contó con 19 muestreos. Hubo también una campaña de muestreo específico como parte del estudio en Maricunga y Pedernales, sólo de aguas superficiales (11 en Pedernales y 18 en Maricunga).

Las principales conclusiones fueron las siguientes:

- Los análisis isotópicos de aguas superficiales y subterráneas muestran que esta agua no se distribuyen paralelamente a la recta MWL (Meteoric Water Line), sino que se alejan de esta a medida que se enriquecen en concentraciones de ^{2}H y ^{18}O.

- En el caso de las aguas superficiales es claro que su tendencia responde a una recta de evaporación (lo que era esperable).
- En el caso de las aguas subterráneas se atribuye a la evaporación en la zona no saturada y enriquecimiento isotópico por sublimación de la nieve.

En la Ref. 18 (Proyecto Lobo Marte), se hizo un estudio isotópico enfocado a reconocer fuentes de agua y posibles mezclas entre esas fuentes, así como también referenciar alguna posible edad de esas aguas. Se recolectaron 9 muestras, 7 de guas subterráneas y 2 de aguas superficiales.

Al igual que lo señalado en la Ref. 3, los resultados de los muestreos de las aguas subterráneas se ubican bajo la recta meteórica mundial, lo que es producto del efecto de la evaporación en la zona no saturada en el área de recarga.

Para efectos de revisar y validar las posibles conexiones de aguas subterráneas que se producen entre cuencas priorizadas vecinas, se propone llevar a cabo una corrida de muestreos para análisis isotópicos en las siguientes captaciones de agua subterránea existentes.

- Conexión cuencas 32 (Salar de Gorbea) con 33 (Salar de la Azufrera): muestreo en pozos SGB8 y SGB12 (cuenca 32) y PSB 1y PSB 6 (cuenca 33)
- Conexión cuencas 32 con 34 (Salar de Agua Amarga): muestreo en pozo CBB 16
- Conexión cuencas 6 (La Laguna) con cuenca 2 (Pedernales): muestreo en pozos SPB 7 y SPB 14 (cuenca 6), SPB 16 y SPB 1 (cuenca 2).
- Conexión cuencas 2 con 28 (Maricunga): no hay pozos cerca del límite de la cuenca
- Conexión cuencas 2 con 29 (Piedra Pómez): no hay pozos cerca del límite de la cuenca
- Conexión cuencas 29 con 14 (Laguna Verde): no hay pozos cerca del límite de la cuenca
- Conexión cuencas 29 con 28: Pozos NJ 1, PPB 5 y PPB 21 (cuenca 29) y pozo CAN 6, SR 1 y SP 1 (cuenca 28)
- Conexión cuencas 28 con 1 (Laguna del Negro Francisco): pozos RA1, RA2 y RA3 (cuenca 28) y pozos 8, 10 y 12 (derechos en trámite en cuenca 1).

Así, el número de muestreos isotópicos de agua subterránea que se recomienda llevar a cabo en un futuro ascendería a 21.

El costo de los análisis en laboratorio del Sernageomín en Santiago de Deuterio y Oxígeno 18 asciende a 1,5 UF + Iva (Sernageomín).

14.7. Geofísica

Las prospecciones geofísicas que se propone que se hagan corresponden al tipo TEM y NanoTem.

Los métodos **Transiente Electro-Magnético (TEM)** y **"Time Domain ElectroMagnetic" (TDEM)** o Sondajes Electro-Magnéticos en el Dominio del Tiempo, presentan una clara ventaja al eliminar o reducir el problema de la capa superficial de alta resistividad que impide la penetración de corriente en el suelo que requiere por ejemplo el método de los Sondajes Eléctricos Verticales, y no requiere de factores de corrección como en el caso de la Gravimetría. Otra ventaja de este método es que es más sensible frente a pequeñas variaciones de la resistividad, y las medidas se pueden hacer más rápidamente y a grandes profundidades. Con el método TEM se puede alcanzar profundidades de hasta 300 m.

Cuando se requiere explorar un suelo de poca profundidad, que puede ser el caso de muchos sectores de la zona de estudio que se analizará, se puede utilizar el *nano*TEM, que es un refinamiento del método anterior, con penetraciones menores en el rango de los 60 m.

Por lo anterior, el uso del TEM o *nano*TEM es cada vez más frecuente pese a que requiere de mayor sofisticación electrónica y el uso de programas matemáticos más complejos para el análisis de los datos. Una restricción, pero que no es ajena tampoco a los métodos clásicos (como el eléctrico), es que para una interpretación definitiva se requiere correlacionar las resistividades medidas con las unidades detectadas o atravesadas en la perforación de un sondaje.

Tem y NanoTem detectan los estratos en profundidad, basamento rocoso y eventualmente la profundidad de la napa.

En el capítulo 10.2 Hidrogeología, se presenta el detalle de las prospecciones geofísicas que se proponen debieran hacerse para un mejor conocimiento hidrogeológico de las cuencas priorizadas.

En el Cuadro 14.5-9 se incluyen las cantidades de ensayos TEM y NanoTem propuestos en cada una de las cuencas priorizadas.

CUADRO 14.5-9
ENSAYOS TEM Y NANOTEM PROPUESTOS

Cuenca	Ensayos	
	TEM	NanoTem
Salar de Gorbea (Nº 32)	4	6
Salar de la Azufrera (Nº 33)	8	3
Salar de Agua Amarga (Nº 34)	4	7
La Laguna (Nº 6)	4	4
Salar de Pedernales (Nº 2)	9	3
Laguna Verde (Nº 14)	4	7
Piedra Pómez (Nº 2)	6	3
Salar de Maricunga (Nº 28)	3	8
Laguna del Negro Fco. (Nº 1)	5	6
TOTAL	47	47

El costo de un estudio geofísico con puntos TEM y NanoTem en la zona de interés, asciende a (valores a Nov. 2013, sin IVA):

- Sondeos TEM o NanoTem: $ 170.000 el punto
- Movilización Equipos y Personal: $ 4.000.000
- Interpretación e Informes: $ 3.000.000

Así, el costo aproximado de efectuar la campaña geofísica asciende a:

COSTOS GEOFÍSICA= $ 170.000 X 94+ $ 4.000.000 + $ 3.000.000= $ 22.980.000.-

En la Figura 14.4-1 se puede ver la ubicación de los puntos TEM y NanoTem propuestos.

14.8. Estaciones Evaporimétricas

Para la medición de la evaporación se ha considerado un instrumento que consta de las siguientes partes:

a) Pan de Evaporación
b) Medidor de Evaporación

c) Tubo de Extensión

EQUIPO DE MEDICIÓN DE EVAPORACIÓN



255-200 Evaporation Pan



255-212 Floating/Submersible Min-Max Thermometer



255-100 Analog Output Evaporation Gauge

En el siguiente cuadro se incluyen la ubicación de cada una de las estaciones evaporimétricas propuestas; se ha creído conveniente ubicarlas junto a las estaciones pluviométricas propuestas.

CUADRO 14.5-10
ESTACIONES EVAPORIMÉTRICAS PROPUESTAS

Nº	Nombre	Coordenadas (UTM WGS 84)	
		Norte (m)	Este (m)
EV1	Agua Amarga	7.178.629	515.637
EV2	La Ola en Vertedero	7.070.582	494.002
EV3	Maricunga Retén	7.031.281	495.457
EV4	Laguna Santa Rosa	7.004.636	482.586
EV5	Astaburuaga en Cruce	6.958.536	489.987

El costo del suministro de cada estación asciende a (ver Anexo 14-3, Cotizaciones):

CUADRO 14.5-11
COSTOS ESTACIÓN EVAPORIMÉTRICA
(Nov. 2013)

ITEM	CANT	DESCRIPCION MERCADERIA	P. UNIT.	TOTAL
01	01	Pan de evaporación modelo 255-300	$ 950.000.-	$ 950.000.-
02	01	Medidor de evaporación, modelo 255-200	$ 945.000.-	$ 945.000.-
03	01	Tubo de extensión – conexión ítem 01 y 02, 255-100	$ 155.000.-	$ 155.000.-
		TOTAL VALOR NETO		$ 2.050.000.-
		I.V.A.		389.500.-
		TOTAL VALOR MERCADERIA		$ 2.439.500.-
				<<<<<<<<<<>>>>>>>>>>

El costo del evaporímetro, sumado la plataforma satelital se incluye en el Cuadro 14.5-12.

CUADRO 14.5-12
COSTO TOTAL INCLUYENDO PLATAFORMA SATELITAL
(Nov. 2013, sin IVA)

Ítem	Designación	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
				$	$
1	Pan de Evaporación	Un	1,0	950.000	**950.000**
2	Medidor de Evaporación	Un	1,0	945.000	**945.000**
3	Tubo de Extensión	Un	1,0	155.000	**155.000**
4	Plataforma Satelital Stevens	Un	1,0	2.450.000	**2.450.000**
5	Panel Solar 20 Watts	Un	1,0	225.000	**225.000**
6	Batería 12 Volts	Un	1,0	85.000	**85.000**
				Total	**4.810.000**

Como son 5 estaciones evaporimétricas propuestas, el costo total del suministro asciende a $ 24.050.000.-

Para la instalación de una de las estaciones evaporimétricas se requiere de una superficie nivelada de aprox. 2,25 m2 (se puede montar sobre un pallet de madera). Al momento de ir hacer la medición se debe llenar con 120 litros de agua.

14.9. Estaciones de Medición de Nieve

Se cotizaron los siguientes instrumentos para medición de nieve:

a) **Snow Pillow:** para su instalación se requiere de una superficie de 12 m2, 2 m de tubo y fitting de PVC de ¾" y 450 litros de mezcla de agua con anticongelante (50% agua – 50% anticongelante).



Figure 4-3. Agua Canyon, southern Utah



Figure 4-8. Farmington Lower SNOTEL site, Utah

CUADRO 14.5-13
COSTO SNOW PILLOW
(Nov. 2013)

ITEM	CANT	DESCRIPCION MERCADERIA	P. UNIT.	TOTAL
01	01	SNOW PILLOW 10FT POLIÉSTER/POLIETIRENO MODELO WS-PPL-10FT +Almohada de 10ft. de dia. llenada con líquido anti-congelante, fitting de salida, Polietileno reforzado (sin liquido anticongelante)	$ 3.320.000.-	$ 3.320.000.-
02	01	SENSOR DE NIVEL , KPSI, SERIE 500. SDI-12, caracteristicas básicas; - Rango : 0 – 5 m (otros rangos disponibles) - Largo de cable : 10 metros - Precisión : 0,05% de la escala total - Incluye Niple ¾ a ½"	$ 650.000.-	$ 650.000.-
		TOTAL VALOR NETO		$ 3.970.000.-
		I.V.A.		754.300.-
		TOTAL VALOR MERCADERIA		$ 4.724.300.-
				<<<<<<<<<>>>>>>>>>

b) **Pluvio 2:** permite medir precipitación sólida y líquida, sin utilizar calentador. Requiere de un tubo base de 4”; la altura o largo del tubo dependerá de la cantidad de nieve que se acumule. En las siguientes imágenes se muestran ejemplos de este tipo de instrumentos.

PLUVIO 2







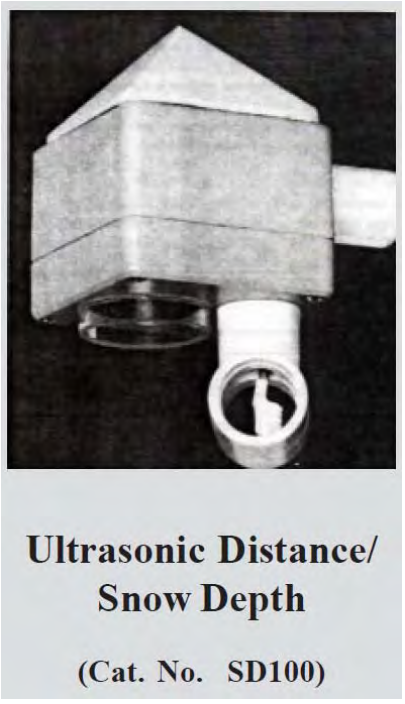
PROTECCIÓN CONTRA EL VIENTO



CUADRO 14.5-14
COSTO PLUVIO 2
(Nov. 2013)

ITEM	CANT	DESCRIPCION MERCADERIA	P. UNIT.	TOTAL
01	01	OTT Pluvio ^{2} - Pluviómetro 200 cm^2/1500 mm - 200 cm^2 superficie colectora - 1500 mm cantidad recolectadle - Intensidad en el Tiempo Real y cantidades de precipitación según WMO. - SDI-12/RS 485 y pulsos/status - Interface de comunicación USB (Incluye cable USB 3m) - Inc. Software de uso Pluvio^{2} (CD) - 10 metros de cable señal y energía (Sin Calefacción)	$ 3.010.000.-	$ 3.010.000.-
		Total Valor neto I.V.A.		$ 3.010.000.- 571.900.-
		Total valor a cancelar		$ 3.581.900.- <<<<<<<>>>>>>
		Opcional		
02	01	Sistema de protección contra viento	$ 1.360.000.-	+ I.V.A.

c) Sensor de Altura de Nieve: mide altura de nieve, y requiere de un mástil para poder montar el brazo (2 m x 1,5").



CUADRO 14.5-15
COSTO SENSOR SÓNICO ALTURA DE NIEVE
(Nov. 2013)

ITEM	CANT	DESCRIPCION MERCADERIA	P. UNIT.	TOTAL
01	01	**SENSOR SONICO ALTURA DE NIEVE MODELO SD-100** + Tipo: Sónico + Señal de Salida: 0-5 VDC / 0-2,5 VDC + Alimentación Eléctrica : 12 Volts + Rango de medición: de 0.5 metros a 10 metros + Temp. Operacional: -40 a 70ºC + Cable: 15 metros + Accesorios Montaje: Brazo de 4 pies para mástil y abrazadera	$ 950.000.-	$ 950.000.-
		Total Valor Neto		$ 950.000.-
		I.V.A.		$ 180.500.-
		Total Valor a Cancelar		$ 1.130.500.- xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

En definitiva, y tal como fuera señalado anteriormente, el instrumento que se usará para medir precipitación líquida y sólida será el denominado Pluvio^2.

14.10. Consideraciones Generales del Plan de Monitoreo Propuesto

Es importante destacar como consideraciones generales los siguientes puntos:

a) Todas las estaciones tendrán incorporado un sistema compacto de Datalogger con transmisor y plataforma satelital. Esta decisión radica fundamentalmente en la dificultad de ir a buscar la información guardad en el Datalogger al lugar donde se ubica la estación correspondiente; además, esta recomendación fue hecha por profesionales de la DGA Región de Atacama cuando se hizo la visita a terreno.
b) La instrumentación escogida para medir lluvia líquida y lluvia sólida (nieve) corresponde al denominado "PLuvio^2", instrumento de última generación y que está siendo ampliamente utilizado tanto en otros países como también en Chile; la DGA a nivel central ya ha adquirido e instalado este tipo de instrumentos.
c) Se creyó conveniente instalar las estaciones evaporimétricas en la misma ubicación de las estaciones pluviométricas – nivométricas,

por un tema logístico cuando se hagan las mantenciones de las estaciones.

d) Los muestreos físico químicos se debieran hacer desde los piezómetros propuestos construir, mientras que los muestreos isotópicos (basta con sólo una campaña) se podrían hacer en sondajes existentes (fronteras de cuencas priorizadas).
e) Los costos de suministros de los equipos de medición y de la instalación de los mismos fueron entregados por la empresa Inducien Instruments S.A. (www.inducien.cl).

14.11. Costos de Instalación de los Equipos Datalogger y Transmisión Satelital

Los costos de instalación de los equipos se refiere a dejar operativo el equipo, en condiciones de comenzar a operar; estos costos fueron entregados por la empresa Inducien, y son los siguientes (ver detalle en Anexo 14-3):

a) Instalación Equipos Pluvio y Fluviométricas: $ 7.260.000.-
b) Instalación Evaporímetros: $ 1.300.000 (estimado, se supuso 2 días adicionales a la instalación de los equipos Pluvio y Fluviométricos)

14.12. Resumen Costos de Estaciones de Monitoreo Propuestas

En el Cuadro 14.5-16 se incluye un resumen de los costos antes consignados.

CUADRO 14.5-16
RESUMEN COSTOS
(Nov. 2013, Sin Iva)

Ítem	Designación	Costo Total ($)
1	Pluvio-Nivométrica	46.350.000
2	Fluviométricas	30.970.628
3	Piezómetros	1.757.700.000
4	Geofísica	22.980.000
5	Evaporímetros	24.050.000
	TOTAL	1.882.050.628

14.13. Costos de Operación y Mantención

14.13.1. Generalidades

La operación de la red hidrométrica comprende la generación de los datos en terreno, el procesamiento de estos y su disposición para el uso público.

Antes de que la información esté disponible al público, toda la información debe pasar por una etapa de proceso de la información. En esta etapa, la información registrada directamente en formato digital es validada, y son calculados los valores medios y extremos para los distintos tipos de estadística que se desea generar.

La operación comprende además las actividades de mantención y reparación de las estaciones. Respecto de la mantención para las estaciones, los instrumentos deben reemplazarse, en promedio cada 10 años.

Para efectos de las estimaciones de costos de operación y mantención de las estaciones fluvio, pluvio-nivo y evaporimétricas, se ha usado información del estudio "Análisis y Valoración De La Funcionalidad De La Red Fluviométrica y Asignación De Derechos De Aprovechamiento", Dirección de Planeamiento, Dic. 2006.

14.13.2. Red Fluviométrica

Para la operación del sistema de la red fluviométrica se deben considerar las actividades de mantención y reparación de las estaciones.

La mantención de las estaciones fluviométricas se realiza en promedio una vez al año por 2 ó 3 personas, e incluye las siguientes actividades:

- Desmalezamiento de la estación
- Desembanque de la sección de control
- Aplicación de pintura o anticorrosivo a las estaciones
- Reparaciones menores

Cuando se trata de reparaciones simples, éstas se hacen directamente en regiones, no obstante, las reparaciones mayores y de equipos son efectuadas por la DGA nivel central. Algunos de los motivos principales de reparaciones mayores son:

- Destrucción de la sección de aforo y/o equipos por crecidas
- Falla de machones o cables del carro
- Vandalismo
- Fallas del equipo

a) Costos de Operación

Los costos de operación deben incluir gastos de personal, tanto de niveles regionales como del nivel central y personal administrativo, gastos de movilización, mantención y reparaciones, repuestos y gastos administrativos.

Para efectos del cálculo de los costos, se utilizaron costos reales obtenidos de los presupuestos de operación y mantención de la red hidrométrica nacional, al año 2006 en la III Región. Dichos costos fueron actualizados al año 2013 (según IPC), y se trabajó con costos unitarios por estación.

➢ Mantención y Reparaciones

Los costos asociados a mantención y reparación de las estaciones fluviométricas (unidad) se incluye en el Cuadro 14.5-17.

CUADRO 14.5-17
COSTO DE MANTENCIÓN Y REPARACIÓN
ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA ANUAL
(Nov. 2013)

Región	Mantenciones ($)	Reparaciones ($)
III	370.000	250.000

➢ Repuestos e Insumos

Los costos asociados a repuestos e insumos de la mantención de las estaciones fluviométricas (unidad) se incluye en el Cuadro 14.5-18. Debido a que la red propuesta incluye equipos más sofisticados (datalogger, transmisor, etc.), el costo anual unitario ha sido aumentado en 5 veces.

CUADRO 14.5-18
COSTO DE REPUESTOS E INSUMOS
ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA ANUAL
(Nov. 2013)

Región	Costo Medio (M$)
III	1.400

En el Cuadro 14.5-19 se incluye un resumen de los costos de operación de la red fluviométrica (unitario); a los costos de los cuadros anteriores se ha agregado los gastos administrativos generales y personal directo (Ver Anexo 1 del estudio "Análisis Y Valoración De La Funcionalidad De La Red Fluviométrica Y Asignación De Derechos De Aprovechamiento").

CUADRO 14.5-19
COSTO ANUAL DE MANTENCIÓN Y OPERACIÓN POR ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA (Nov. 2013)

Región	Costos de Operación Anual por Estación (M$ 2013)					
	Personal Directo	Mantención	Reparaciones	Repuestos	Gastos Generales	Costo por Estación
III	740	370	250	1.400	600	3.360

14.13.3. Red Hidrometeorológica (Pluvio-Nivométrica y Evaporimétrica)

La mantención de la red hidrometeorológicas debe realizarse en promedio 2 veces al año. Las actividades de mantención son la limpieza de las estaciones, recambio de pintura, cambio de piezas si es necesario y calibración de piezas de cambio o descalibradas.

Alguna de las reparaciones más frecuentes se enumeran a continuación:

- Deterioro natural de equipos
- Animales
- Vandalismo
- Fallas del equipo

Los costos de operación de la red hidrometeorológica incluyen gastos de personal, tanto de niveles regionales como del nivel central y personal

administrativo, mantención y reparaciones, repuestos y gastos administrativos.

Los costos de operación se pueden dividir según el siguiente esquema:

- Sueldos directos
- Movilización
- Mantención / Reparaciones
- Repuestos
- Gastos Generales.

a) Mantención y Reparaciones

Los costos de las Mantenciones y Reparaciones de la red hidrometeorológica se obtuvieron de los Presupuestos de Operación y Mantención de la Red Hidrométrica Nacional para el año 2006 y comunicación con el Departamento de Hidrología de la DGA. El detalle regional se presenta en el Cuadro 15.5-20.

CUADRO 14.5-20
COSTO ANUAL DE MANTENCIÓN POR ESTACIÓN
(Nov. 2013)

Región	Mantención	
	Conservación	Operación
III	$ 85.000	$ 20.000

b) Repuestos e Insumos

El costo de repuestos e insumos es obtenido desde el archivo de gastos efectuados para los años 2004 y 2005 (III Región). Los resultados son presentados en el Cuadro 14.5-21; debido a que la red propuesta incluye equipos más sofisticados (datalogger, transmisor, etc.), el costo anual unitario ha sido aumentado en 5 veces.

CUADRO 14.5-21
COSTO ANUAL DE REPUESTOS POR ESTACIÓN (Nov. 2013)

Región	Repuestos
III	$ 300.000

En el Cuadro 14.5-22 se incluye un resumen de los costos de operación de la red pluvio y evaporimétrica (unitario); a los costos de los cuadros anteriores se ha agregado los gastos administrativos generales y personal directo (Ver Anexo 1 del estudio "Análisis Y Valoración De La Funcionalidad De La Red Fluviométrica Y Asignación De Derechos De Aprovechamiento").

CUADRO 14.5-22
COSTO ANUAL DE MANTENCIÓN Y OPERACIÓN POR ESTACIÓN PLUVIO-NIVO Y EVAPORIMÉTRICA (Nov. 2013)

Región	Costos Anual					
	Sueldos Directos	Mantención		Repuestos	Gastos Generales	Costo por Estación
		Conservación	Operación			
III	$ 450.000	$ 85.000	$ 20.000	$ 300.000	180000	$ 1.035.000

14.13.4. Red Piezométrica y de Calidad de Aguas Subterráneas

Para la operación de la red de calidad de aguas subterráneas se utilizan un chofer y un hidromensor. Cada región cubre los gastos por viáticos, bencina y peaje.

Los costos de este ítem serán asimilados a los costos anuales de muestreo de calidad de agua superficial (los parámetros físico químicos son los mismos que para las aguas subterráneas). Se entiende que cuando se vaya a tomar las muestras de agua subterránea, también se procede a medir el nivel estático en el piezómetro.

En e Cuadro 14.5-23 se incluye un resumen de los costos asociados a la red de calidad de aguas superficiales a nivel nacional.

CUADRO 14.5-23
COSTOS ANUALES RED DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES
(2004)

Región	ESTACIONES			COSTOS (MILES $)		
	Número	Frecuencia Muestreo	Total Muestras	Análisis*	Muestreo**	TOTALES
I	25	3	75	7.881	4.175	12.056
II	20	3	60	6.305	3.340	9.645
III	17	3	51	5.359	2.839	8.198
IV	42	3-6	174	18.284	9.686	27.970
V	25	3	75	7.881	4.175	12.056
VI	20	3	60	6.305	3.340	9.645
VII	26	3	78	8.196	4.342	12.538
VIII	30	3	90	9.457	5.010	14.467
IX	21	3	63	6.620	3.507	10.127
X	36	3	108	11.349	6.012	17.361
XI	19	3	57	5.990	3.173	9.163
XII	37	3	111	11.664	6.179	17.843
R.M	25	3	75	7.881	4.175	12.056
TOTAL	343		1077	113.172	59.954	173.125

*incluye mantenimiento, reparaciones y repuestos (gastos centrales)
**incluye movilización y gastos generales.

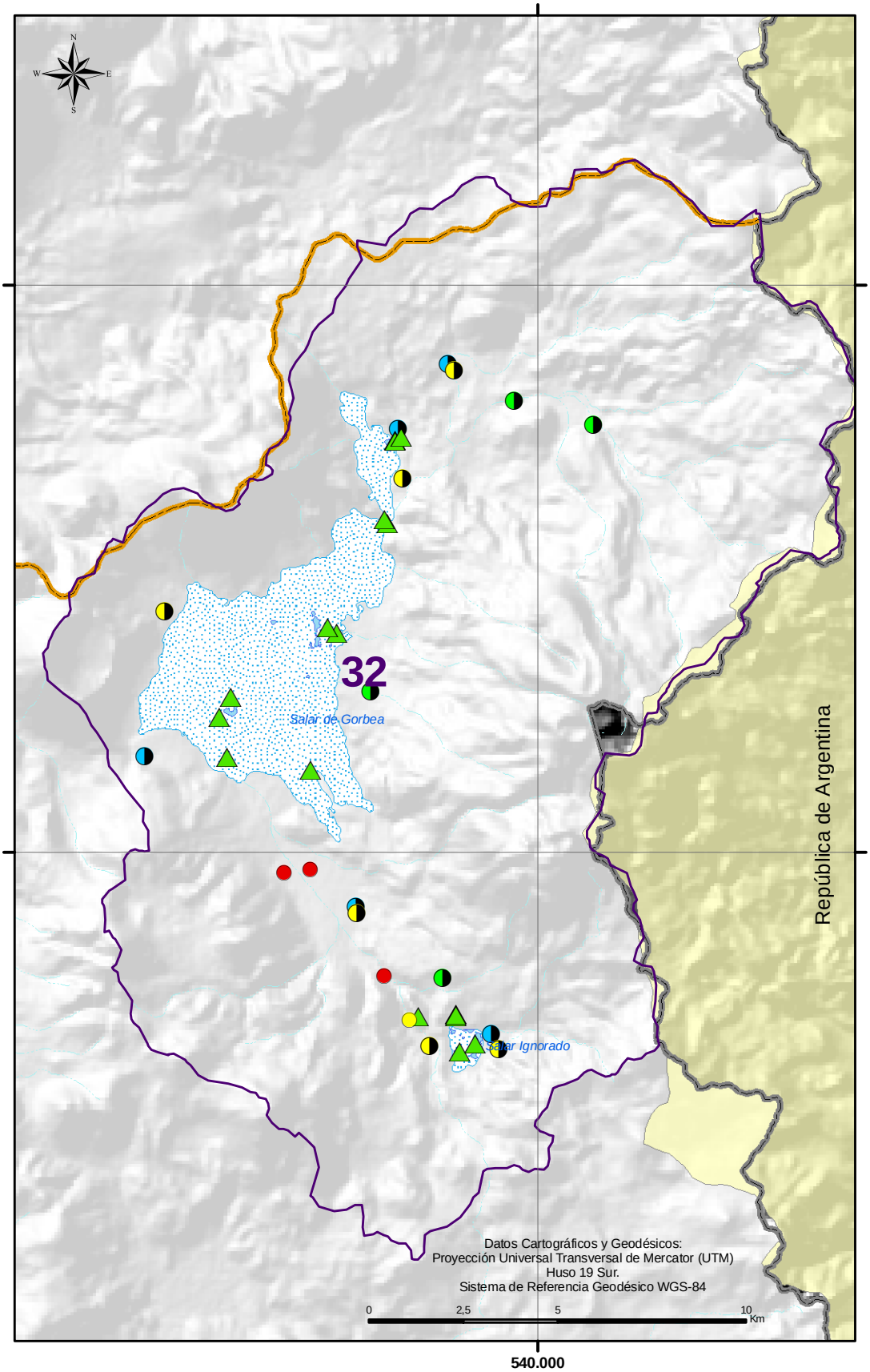
Fuente: Presupuesto DGA 2004.

De acuerdo con los valores del cuadro anterior, calculando el costo unitario por estación actualizado al año 2013, es:

- **Costo Unitario Anual de Operación y Mantención por Estación= $ 700.000.-**

14.14. Información Recopilada y Generada

En las Figuras 14.14-1 a 14.14-21 se muestra, espacialmente, toda la información que ha sido recopilada y generada durante el desarrollo del estudio.



Simbología

Derechos

- Derechos de Aguas Subterráneas Constituidos
- Derechos de Aguas Superficiales Constituidos

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

- Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999
- Nano TEM Propuestos
- Piezómetros Propuestos
- TEM Propuestos

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

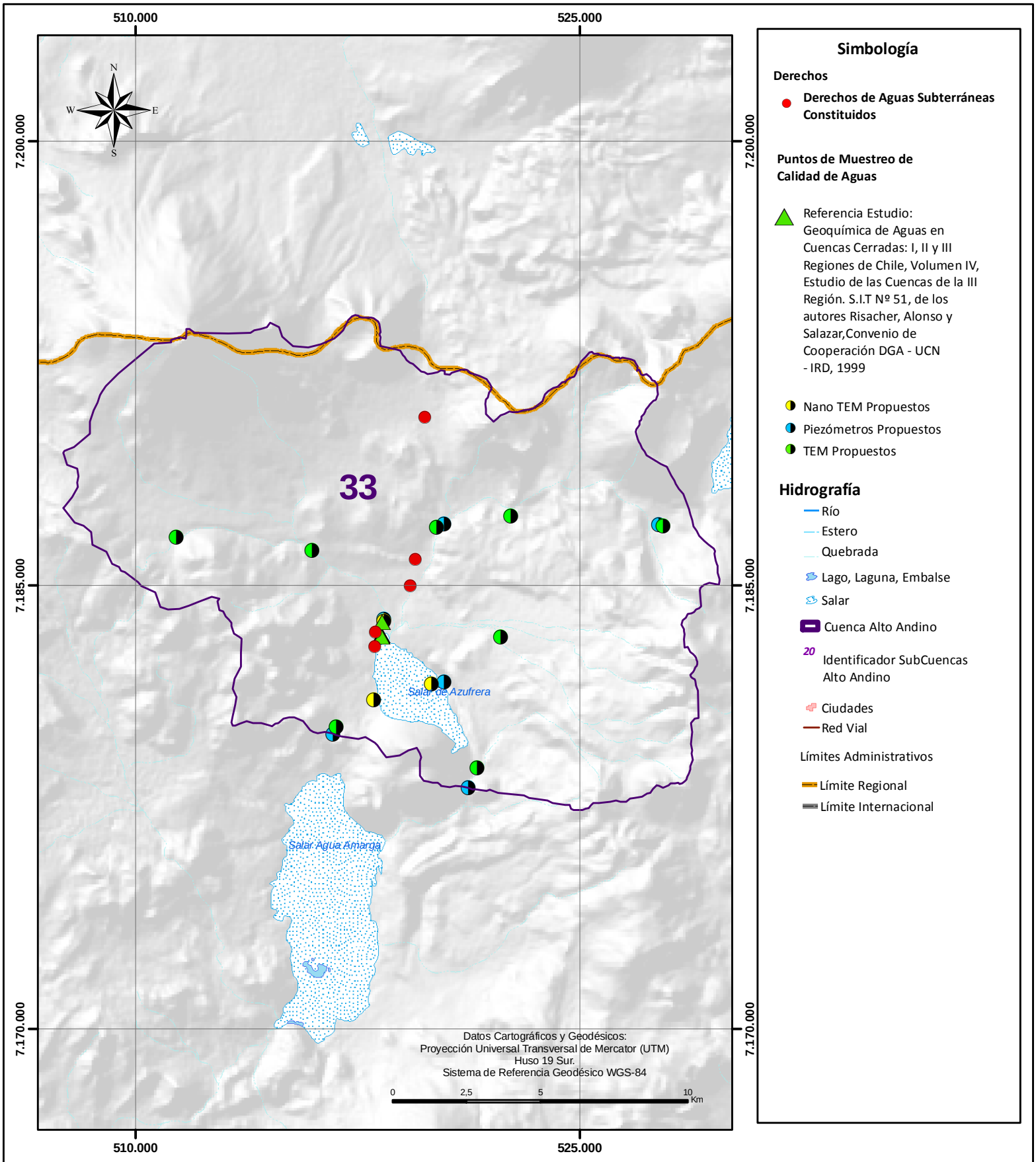
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 1	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 32



Simbología

Derechos

- **Derechos de Aguas Subterráneas Constituidos**

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

- Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999
- Nano TEM Propuestos
- Piezómetros Propuestos
- TEM Propuestos

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

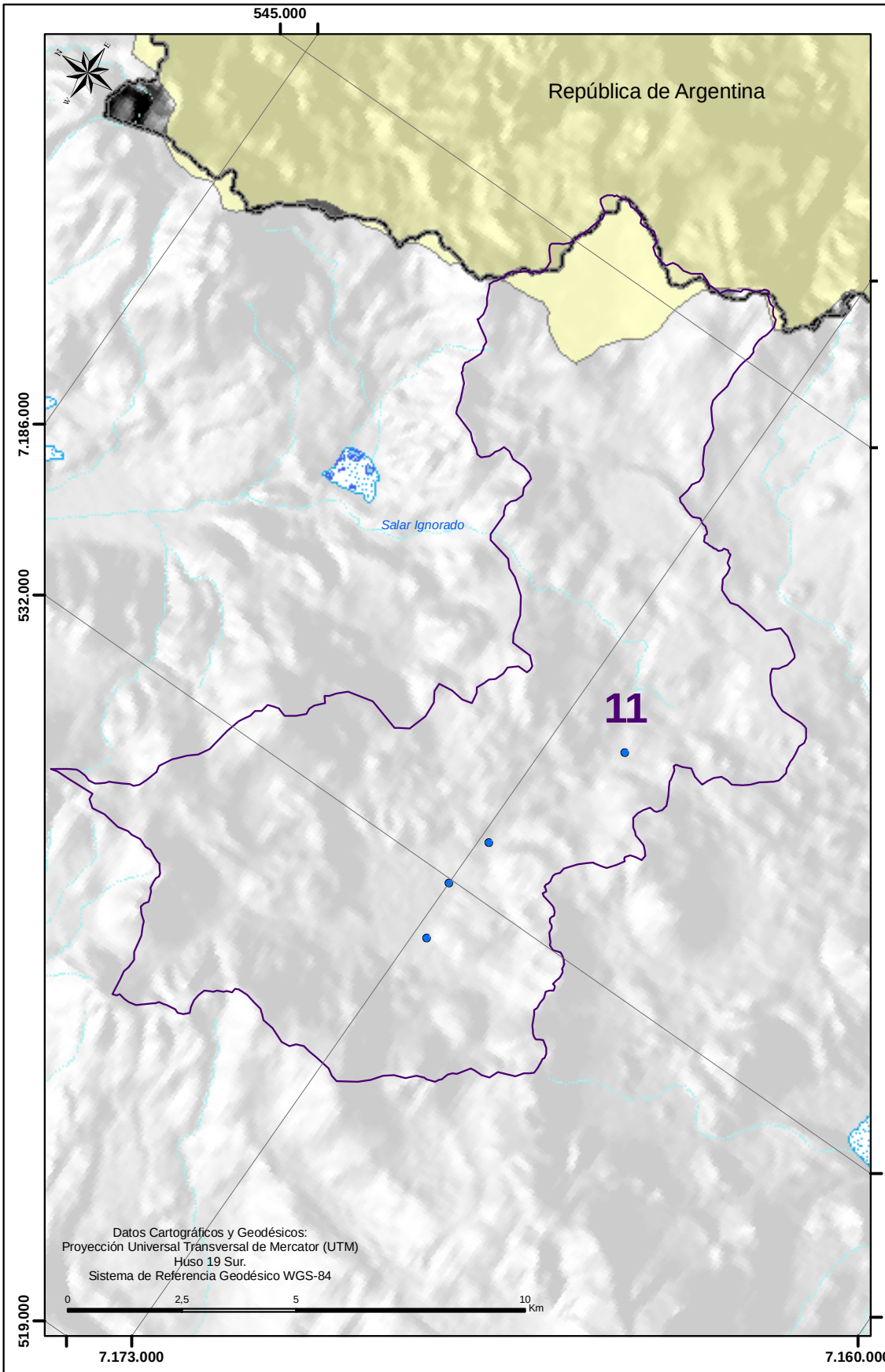
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 2	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 33



Simbología

Derechos

- Solicitudes de Derechos de Aguas Subterráneas

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

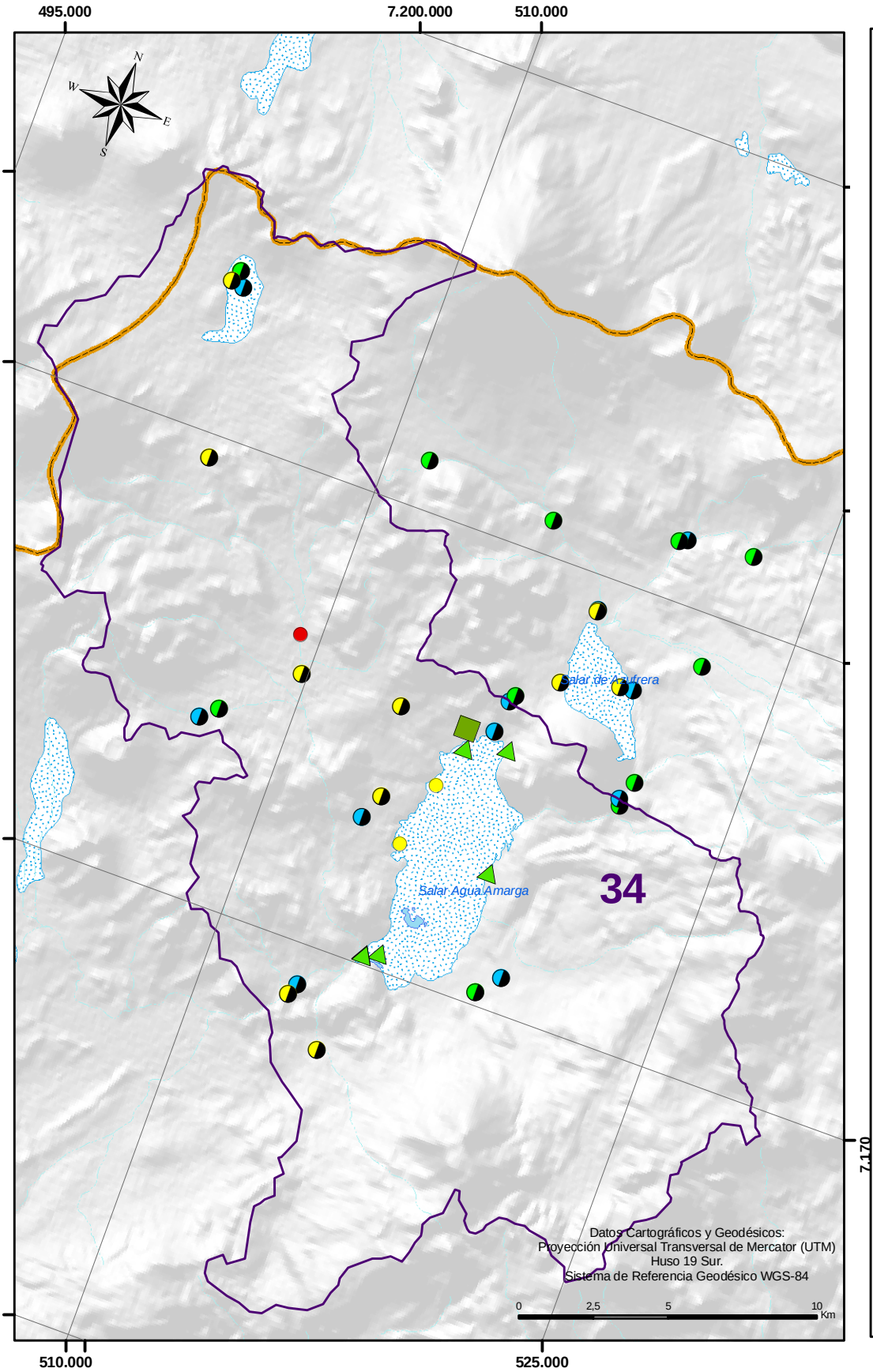
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 3	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 11



Simbología

Derechos

- Derechos de Aguas Subterráneas Constituidos
- Derechos de Aguas Superficiales Constituidos

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

- Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999
- Estaciones Pluviométricas Existentes
- Nano TEM Propuestos
- Piezómetros Propuestos
- TEM Propuestos

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

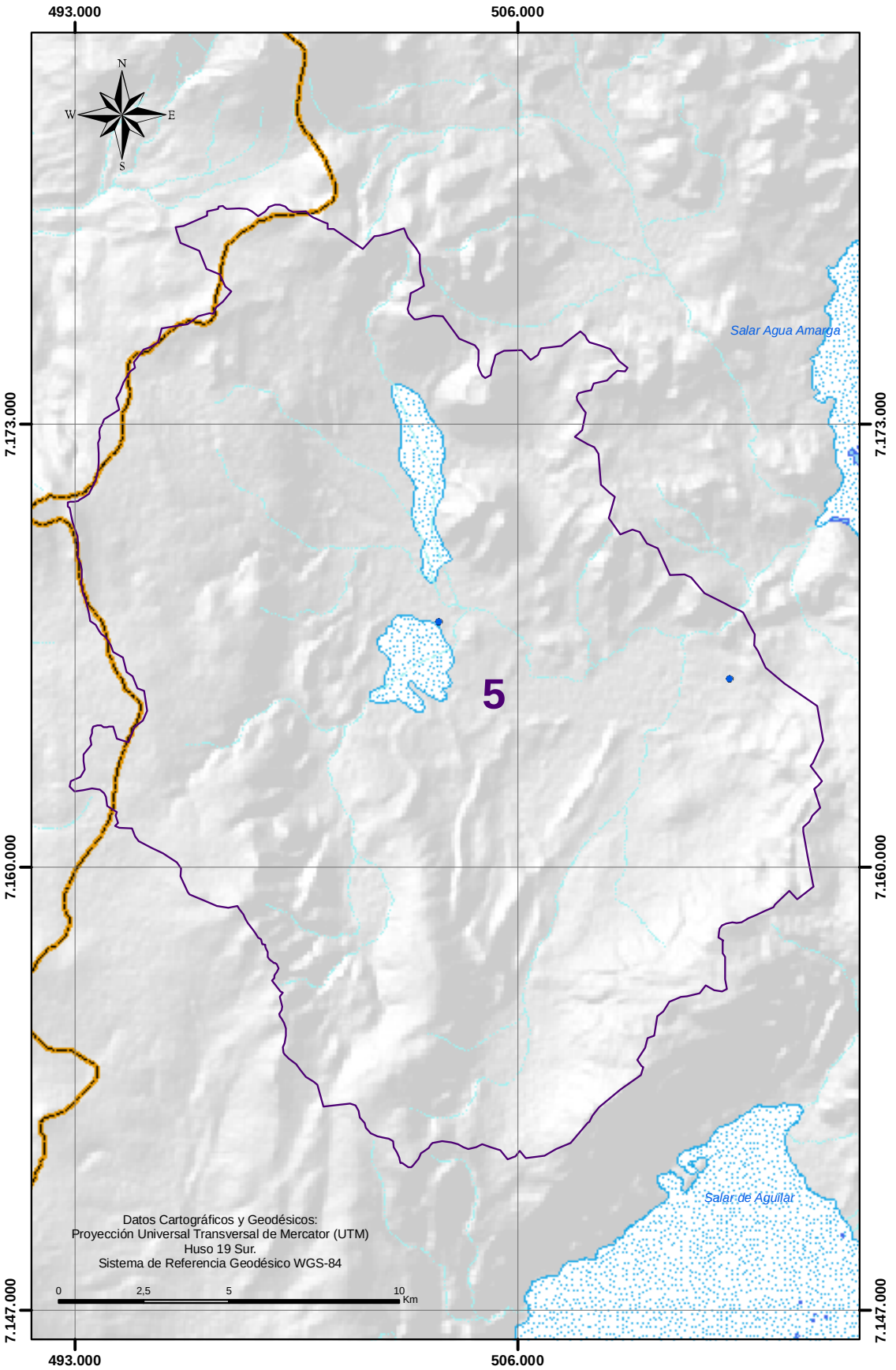
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 4	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 34



Simbología

Derechos

- Solicitudes de Derechos de Aguas Subterráneas

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

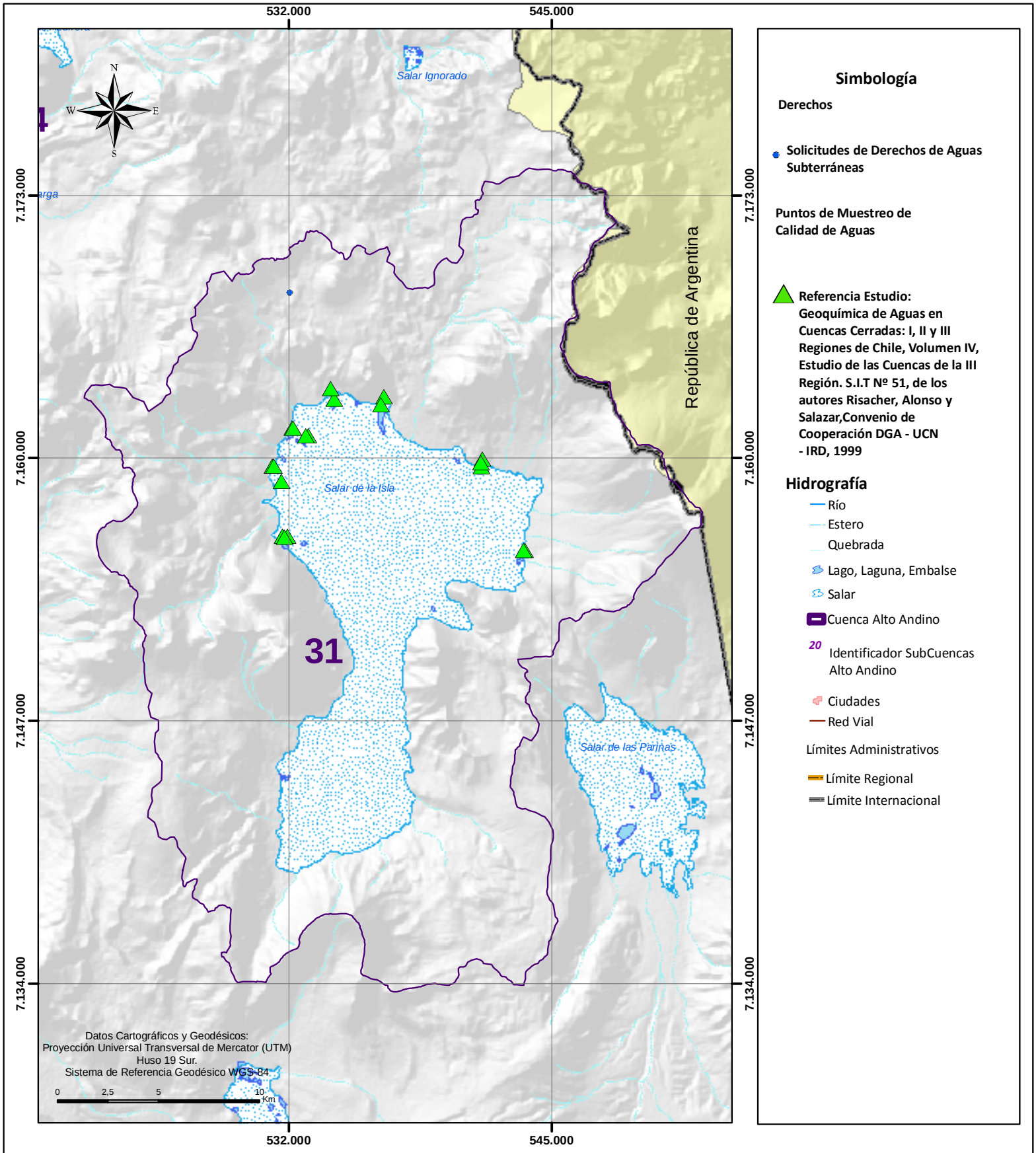
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 5	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 5



Simbología

Derechos

Solicitudes de Derechos de Aguas Subterráneas

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

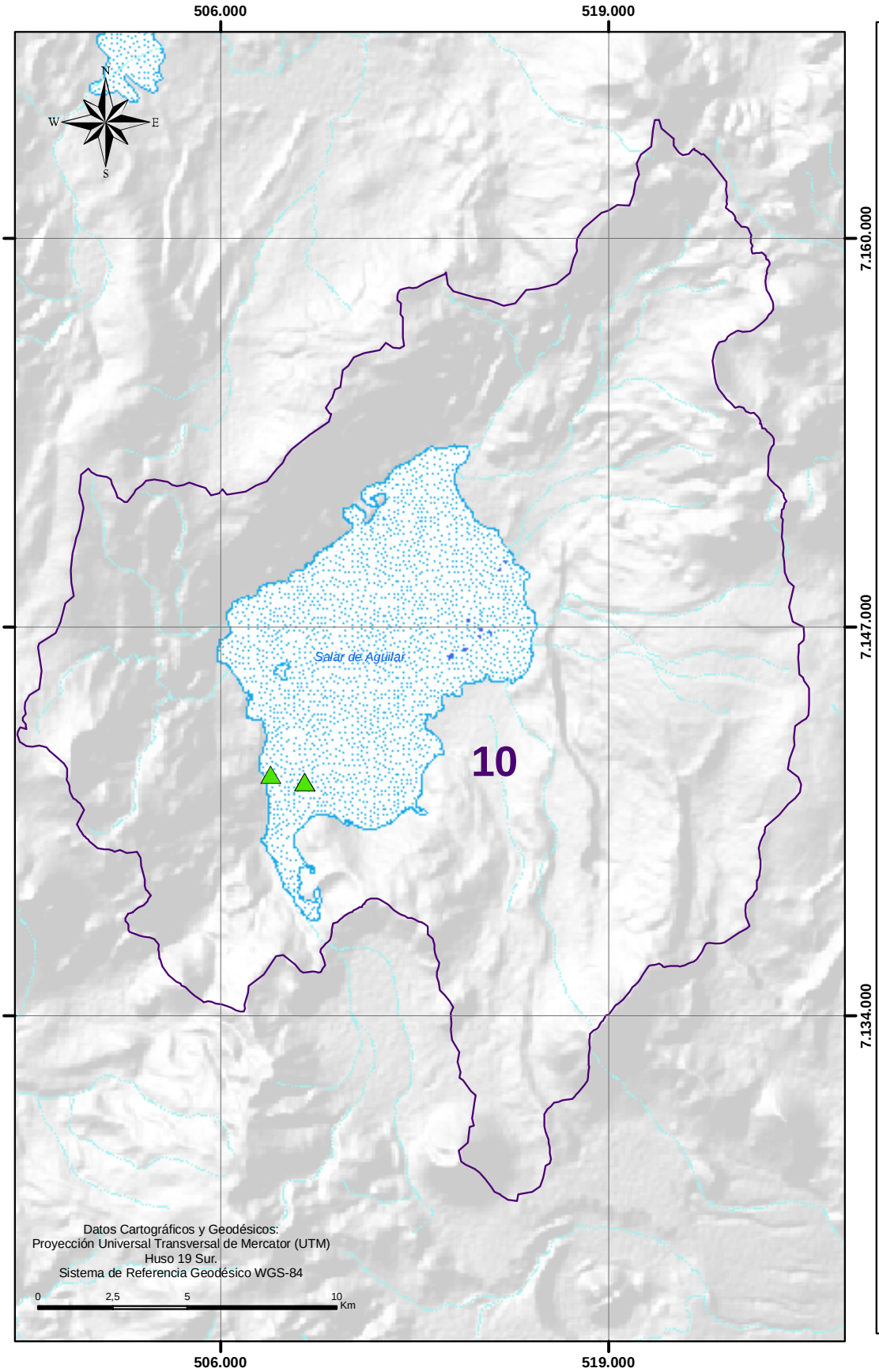
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 6	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 31



Simbología

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

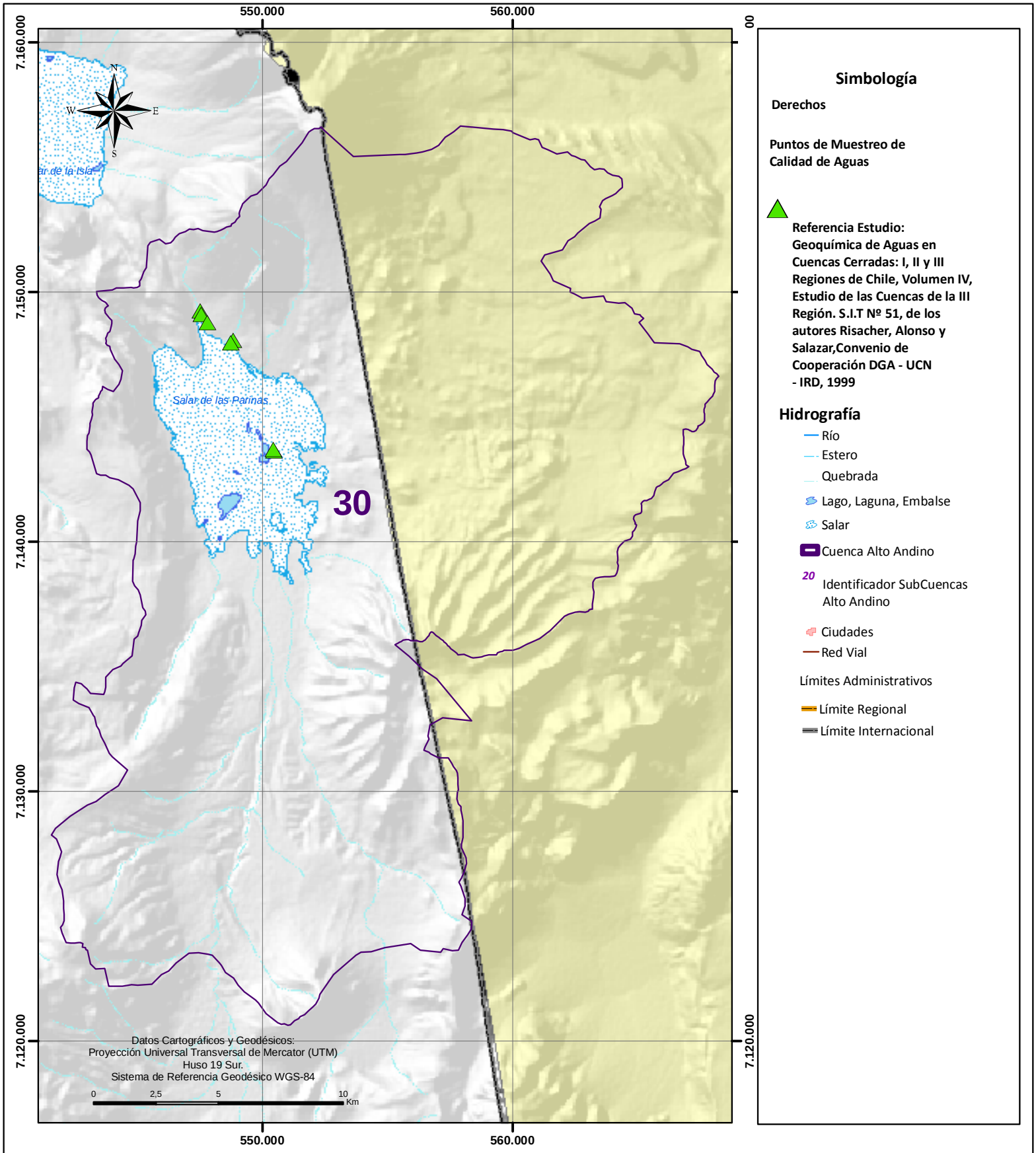
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 7	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 10



Simbología

Derechos

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

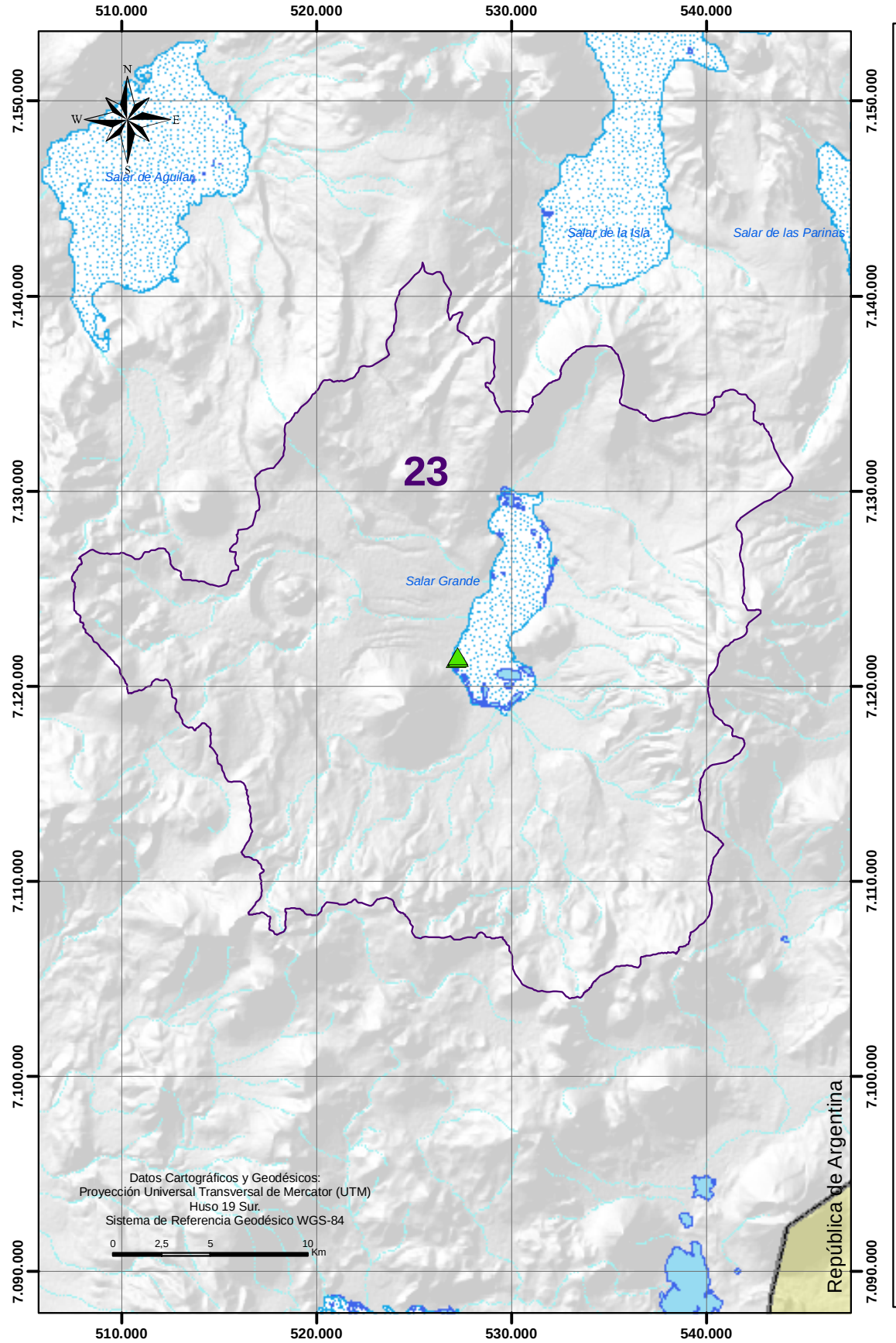
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 8	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 30



Simbología

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

- Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

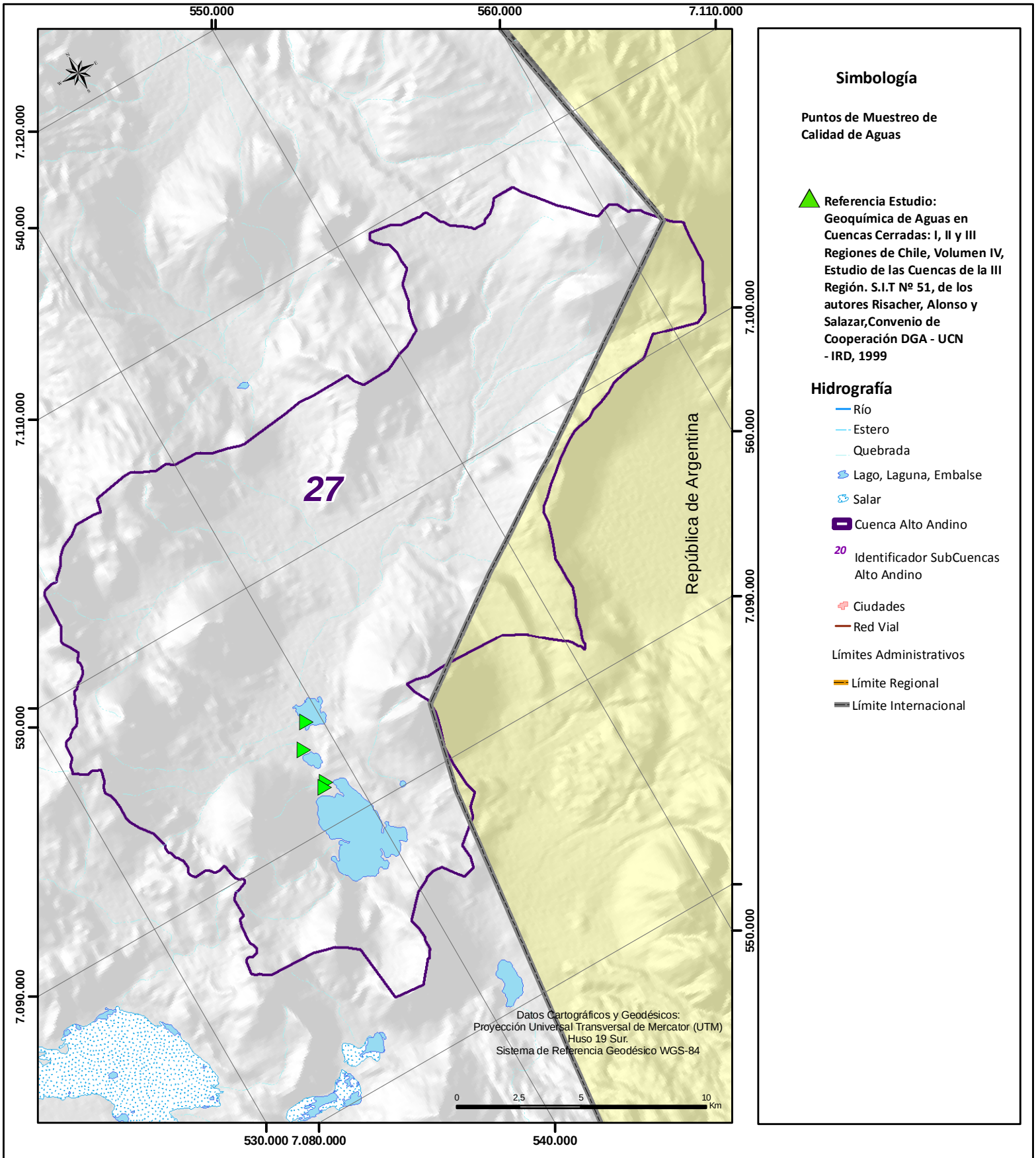
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 9	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 23



Simbología

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

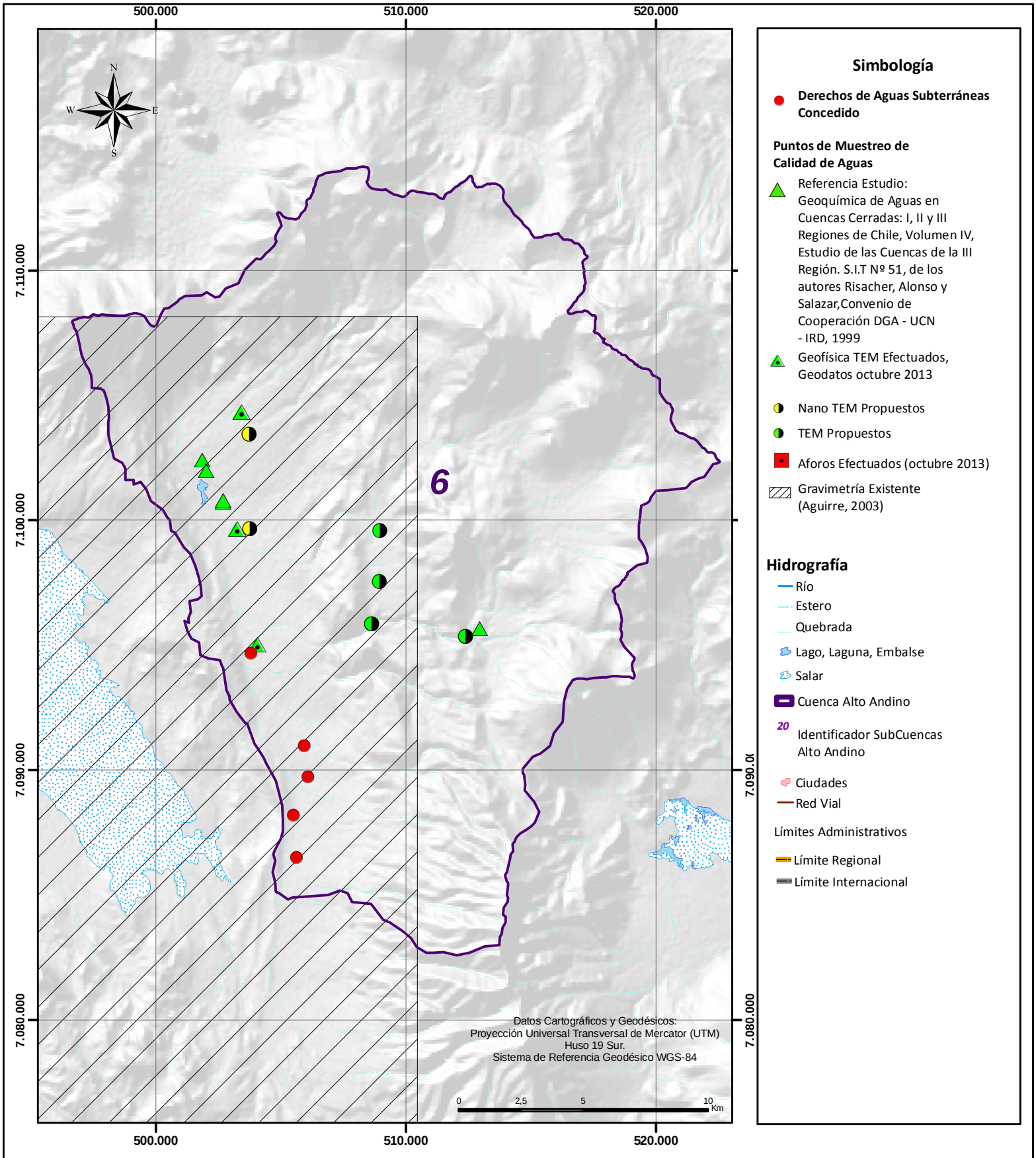
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 10	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 27



Simbología

Derechos de Aguas Subterráneas Concedido

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999

Geofísica TEM Efectuados, Geodatos octubre 2013

Nano TEM Propuestos

TEM Propuestos

Aforos Efectuados (octubre 2013)

Gravimetría Existente (Aguirre, 2003)

Hidrografía

Río

Estero

Quebrada

Lago, Laguna, Embalse

Salar

Cuenca Alto Andino

20 Identificador SubCuencas Alto Andino

Ciudades

Red Vial

Límites Administrativos

Límite Regional

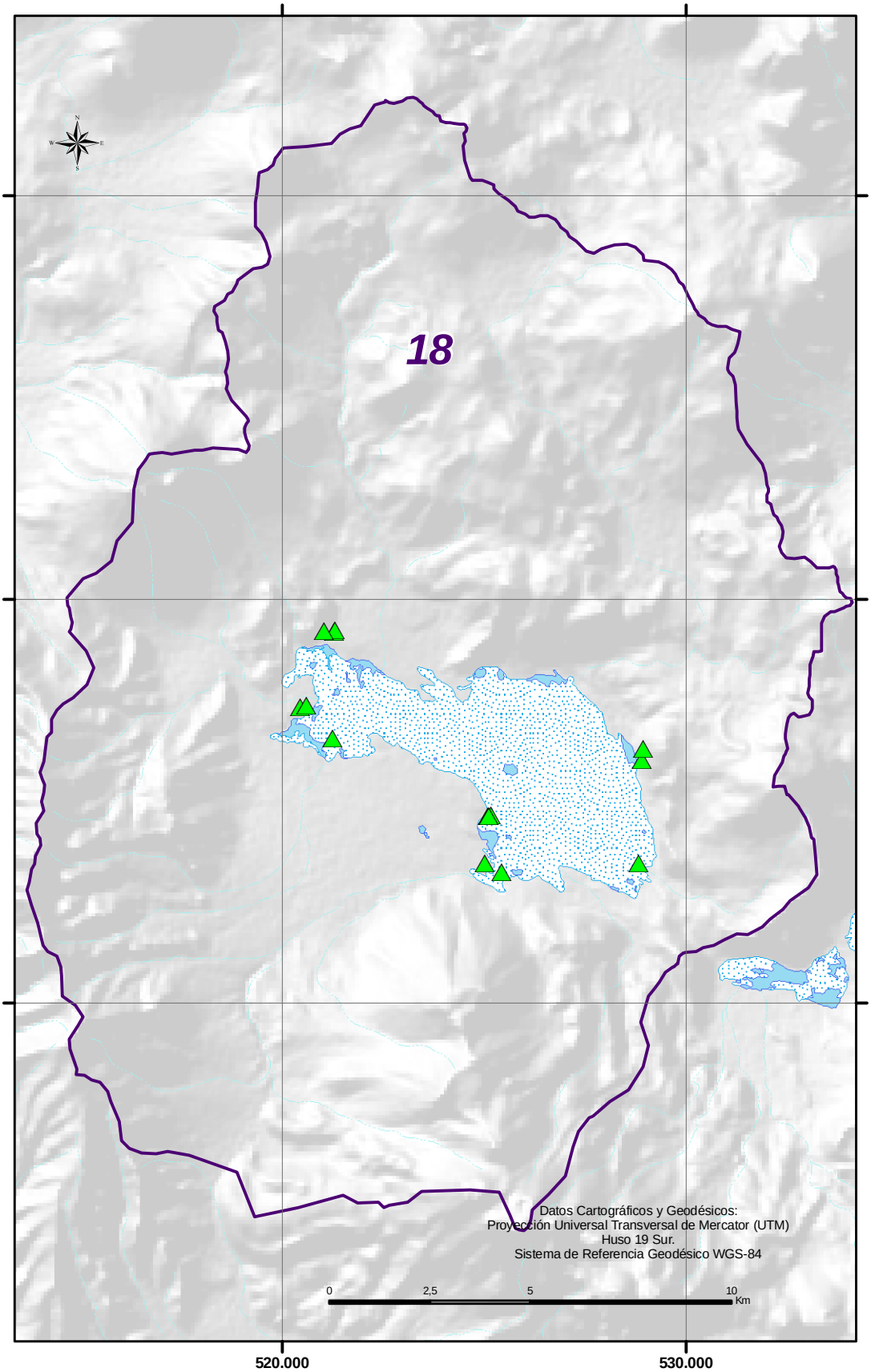
Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 11	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 6



Simbología

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

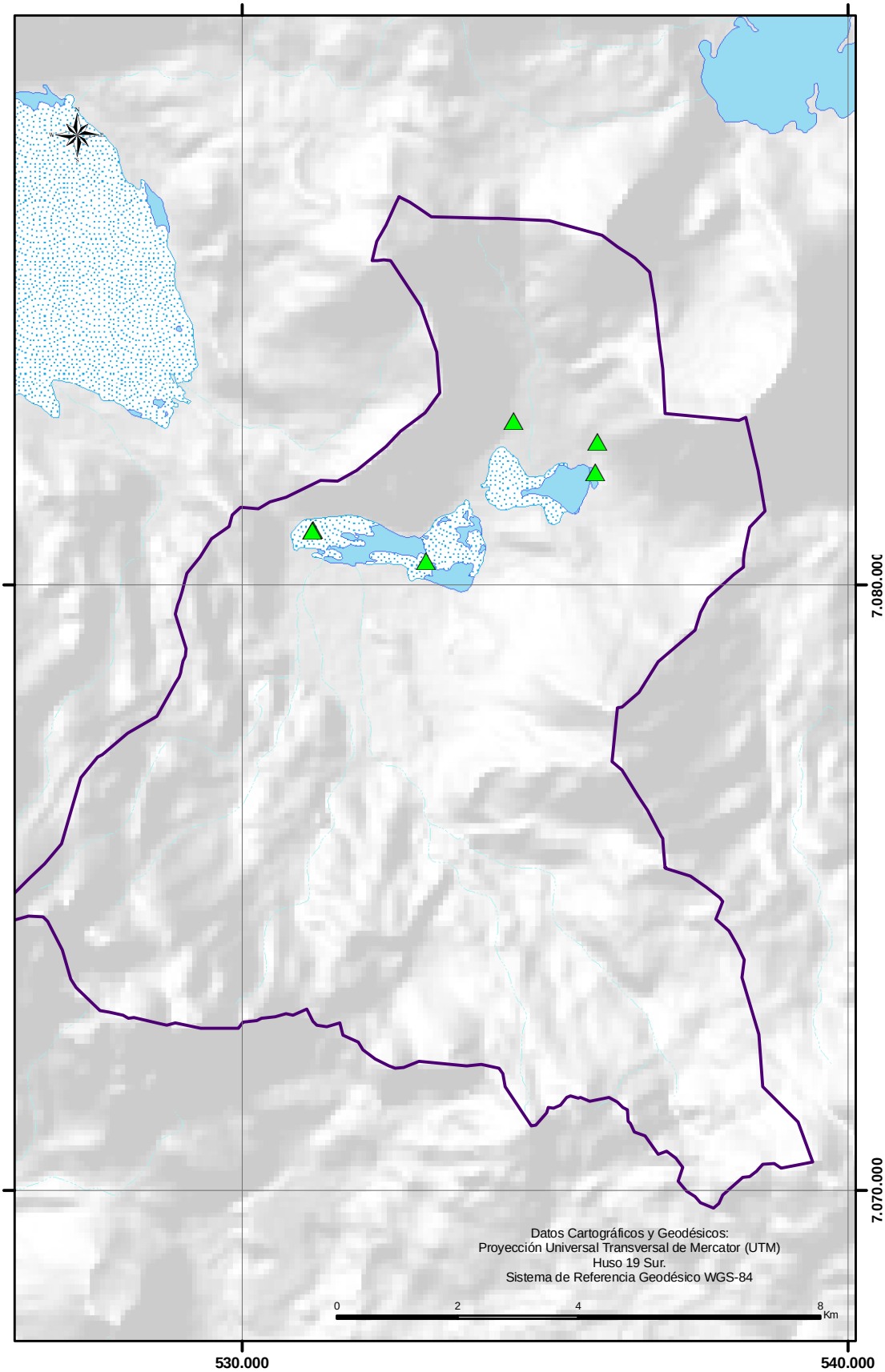
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 12	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 18



Simbología

Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

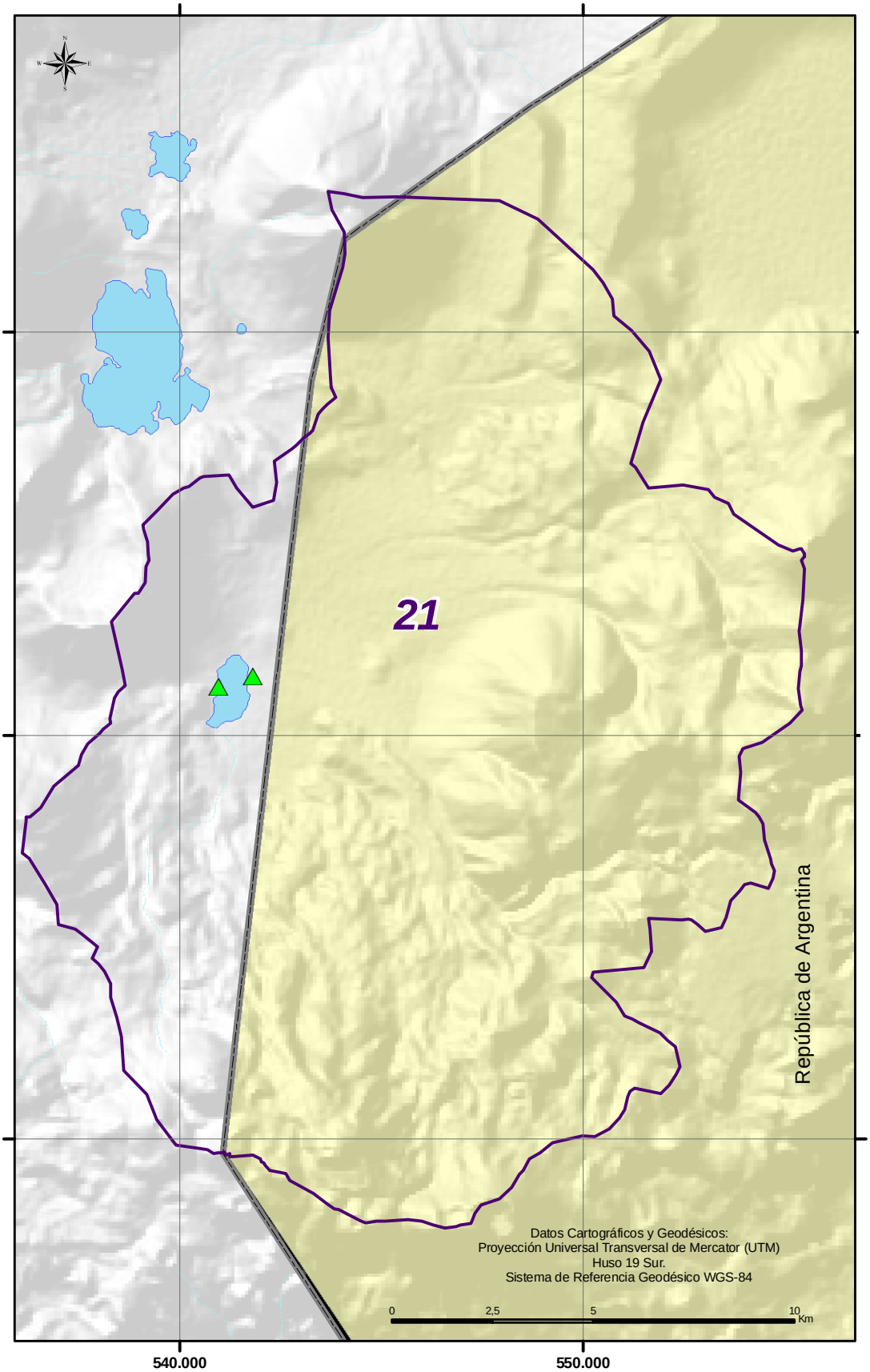
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 13	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 20



Simbología

Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

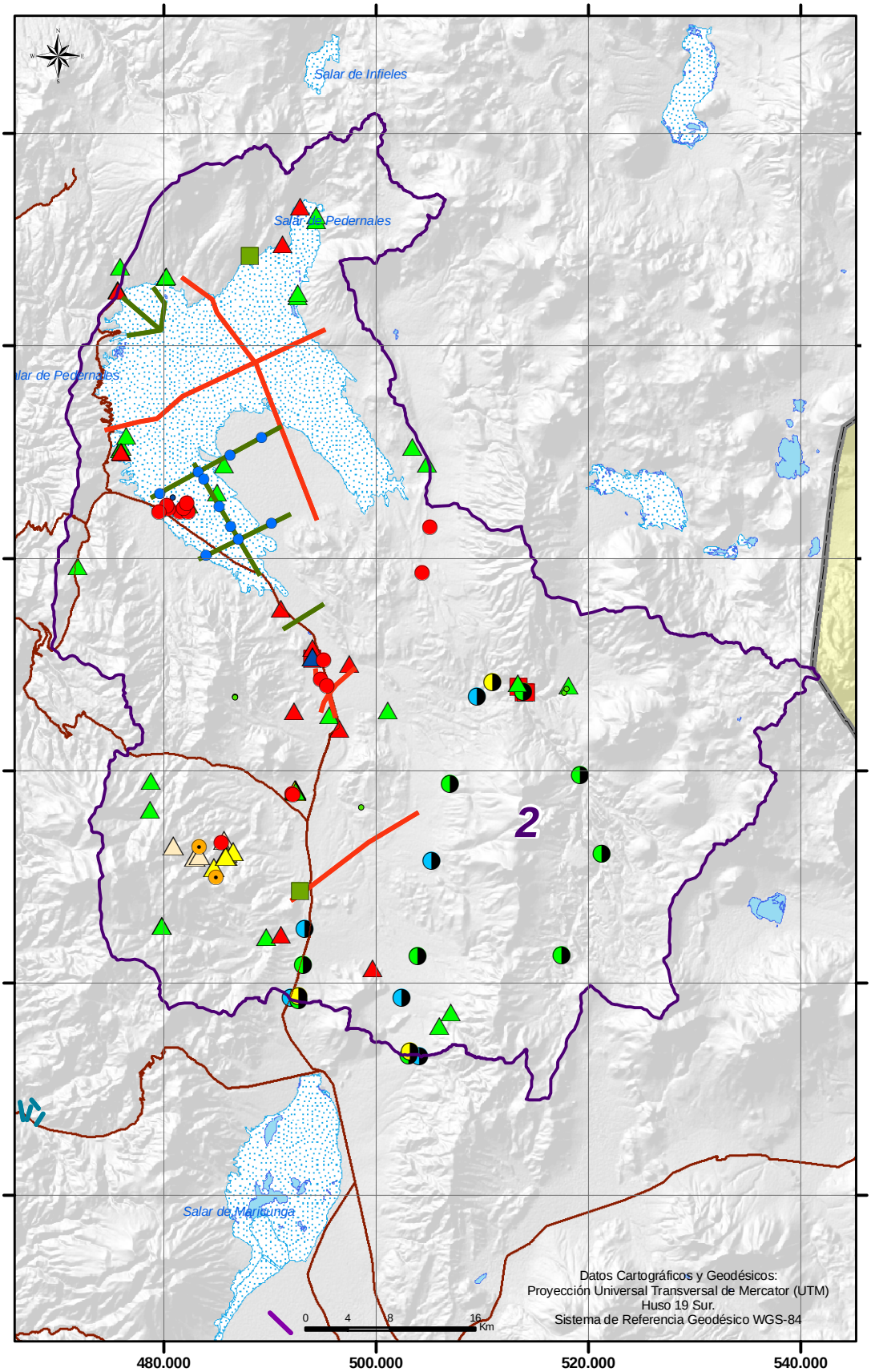
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 14	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 21



Simbología

Derechos

- Derechos de Aguas Subterráneas Concedidos
- Solicitudes de Derechos de Aguas Subterráneas
- Solicitudes de Derechos de Aguas Superficiales

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

- Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999
- Proyecto Arqueros
- Proyecto Chimberos
- Estudio Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II y III; SIT Nº 157 (parte1) y SIT Nº 195 (parte Nº2) - DICTUC 2009
- Proyecto Minero
- Estaciones Pluviométricas Existentes
- Estaciones Fluviométricas Existentes
- Aforos Efectuados (octubre 2013)
- Sondeo Eléctrico Vertical (Bettancourt y Julio, 1976)
- Nano TEM Propuestos
- Piezómetros Propuestos
- TEM Propuestos
- Perfiles Geofísicos Efectuados, Método TEM (CPH Consultores, 2004)
- Perfiles Sísmicos (Julio y Bettancourt, 1975 y 1976)
- Perfiles Geofísicos Efectuados, Método TEM (Golder Associates S.A., 2011)
- Perfiles Geofísicos Efectuados, Método NANOTEM (Golder Associates S.A., 2011)

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

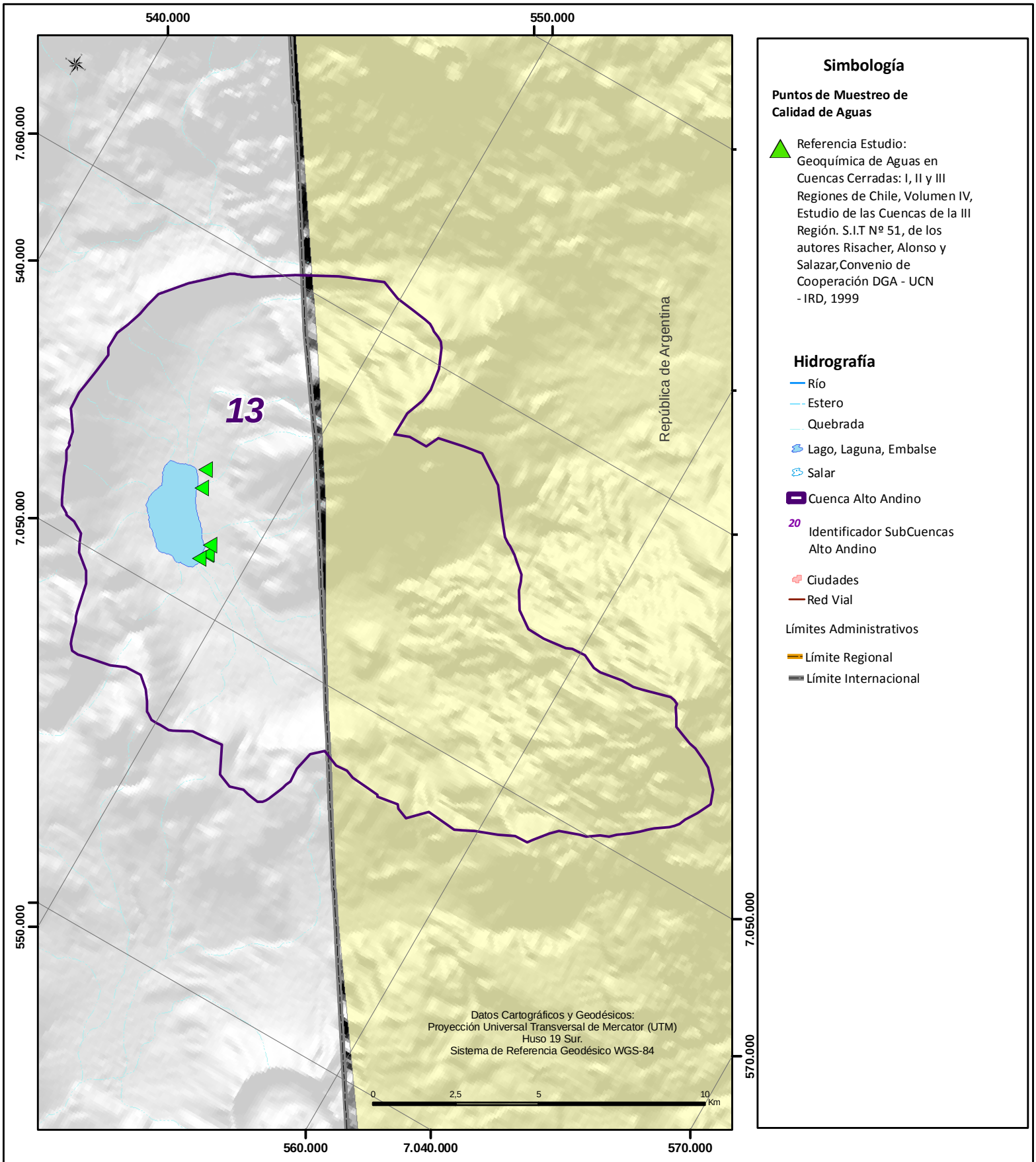
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 15	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 2

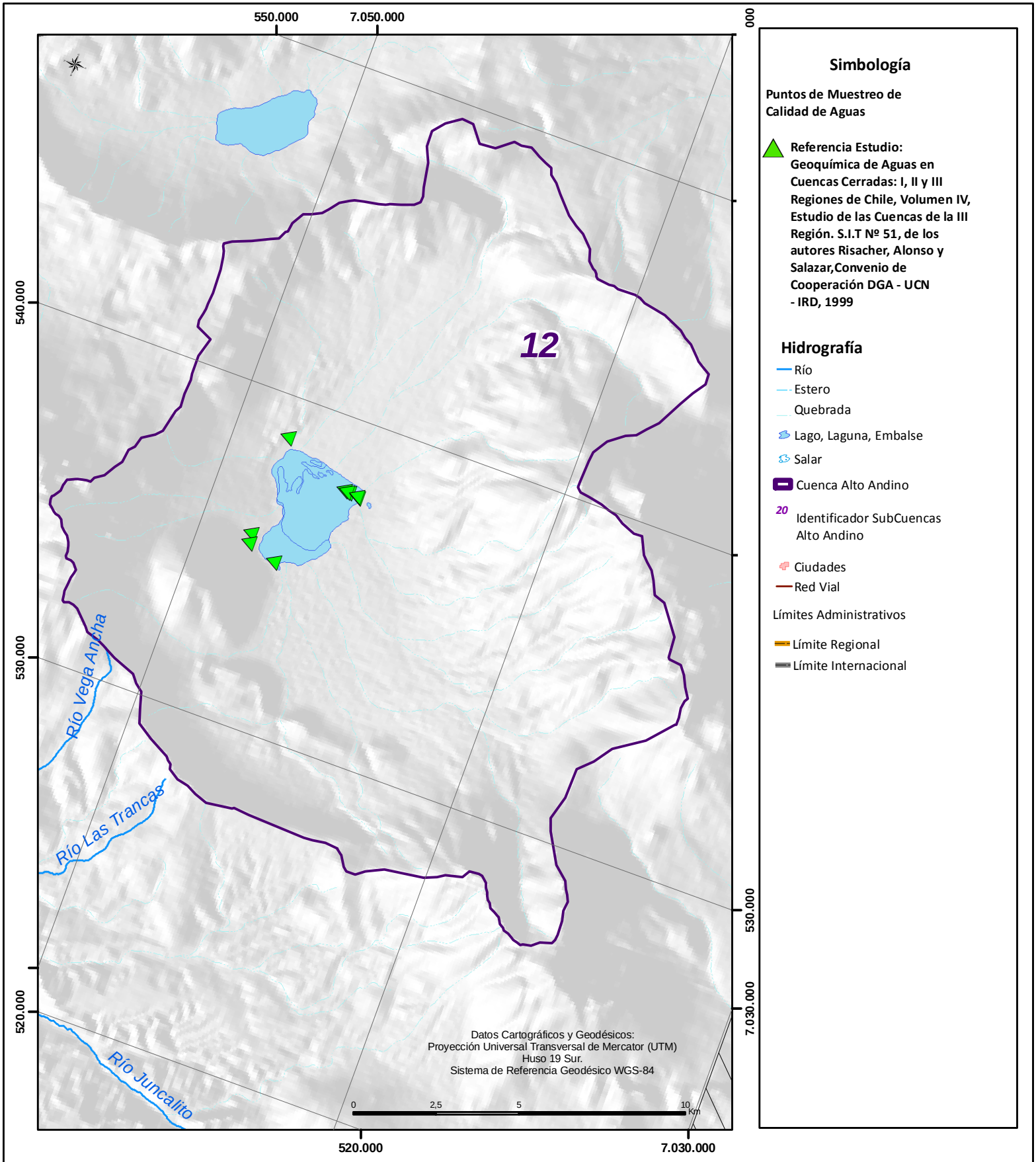


REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 16	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 13



Simbología

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV, Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

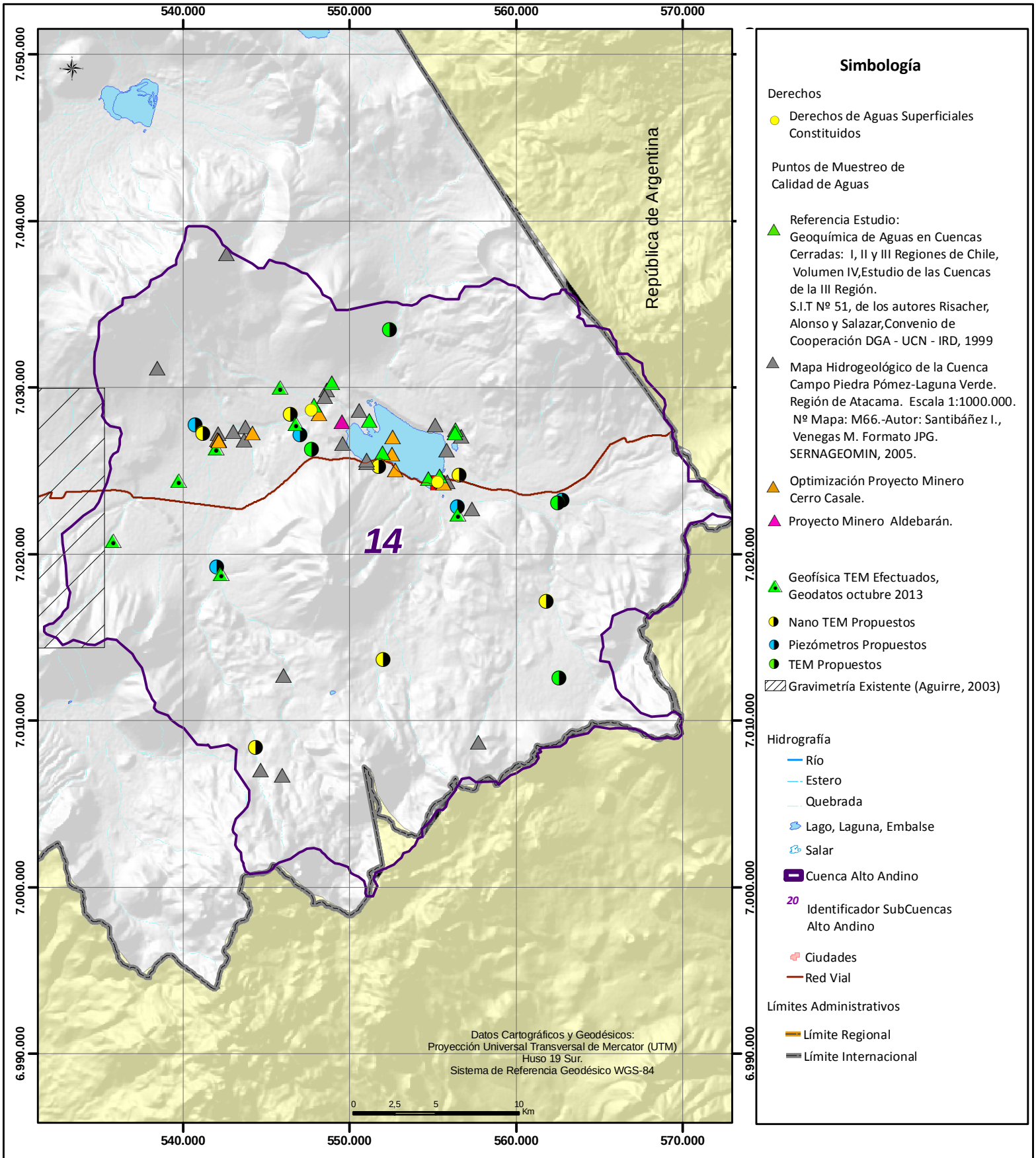
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 17	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 12

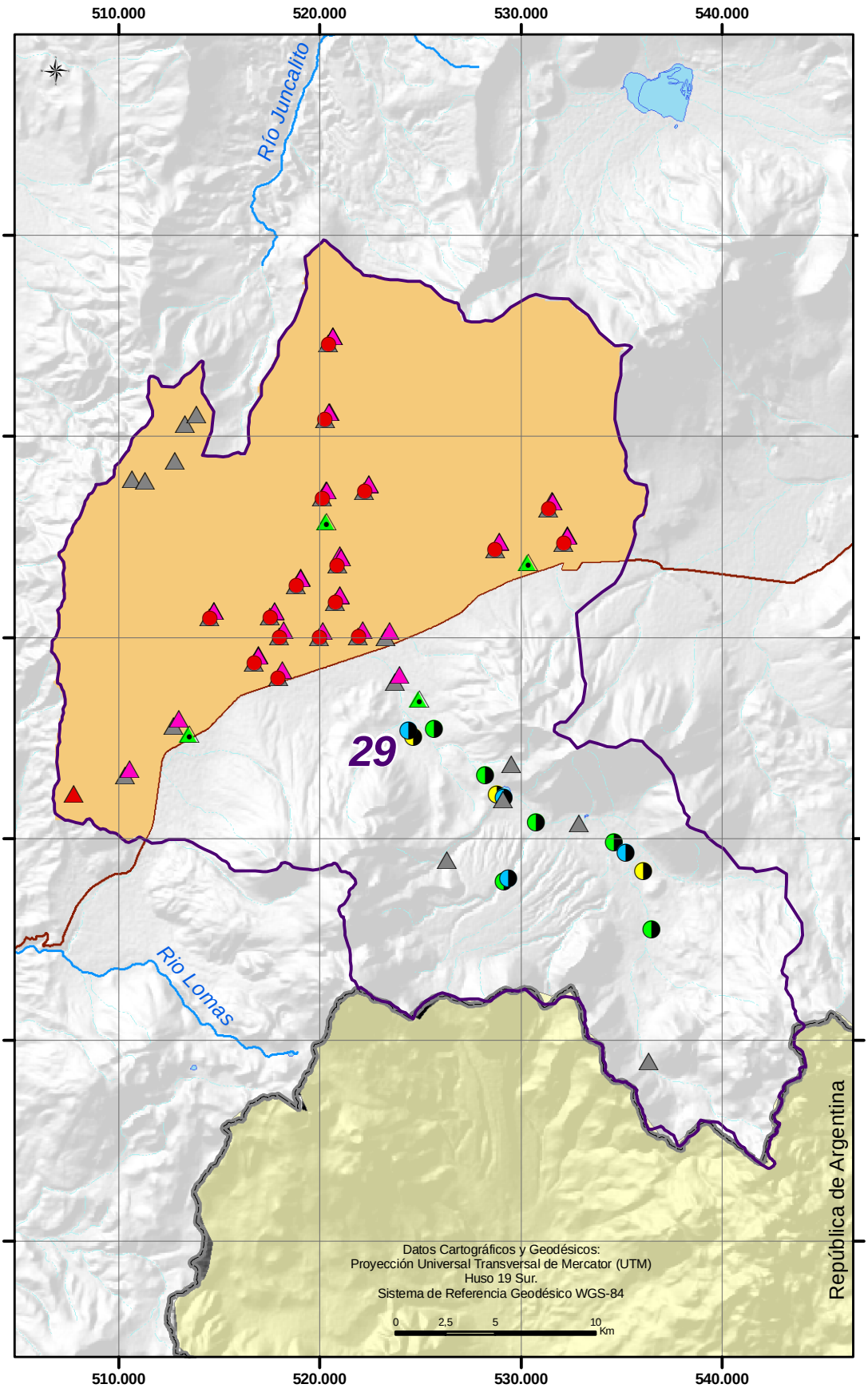


REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 18	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 14



Simbología

Derechos

- Derechos de Aguas Subterráneas Concedidos

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

- Proyecto Minero Aldebarán.
- Geofísica TEM Efectuados, Geodatos octubre 2013
- Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Campo Piedra Pómez-Laguna Verde. Región de Atacama. Escala 1:1000.000. Nº Mapa: M66.-Autor: Santibáñez I., Venegas M. Formato JPG. SERNAGEOMIN, 2005.
- Estudio Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II y III; SIT Nº 157 (parte1) y SIT Nº 195 (parte Nº2) - DICTUC 2009
- Perfiles Geofísicos Efectuados, Método TEM (Expedientes ND-302-483/ 484/ 485 486/ 487/ 488/ 489/490 491/ 492/ 493/ 494/ 495 496/497/498/499)
- Nano TEM Propuestos
- Piezómetros Propuestos
- TEM Propuestos
- Gravimetría Existente (Aguirre, 2003)

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

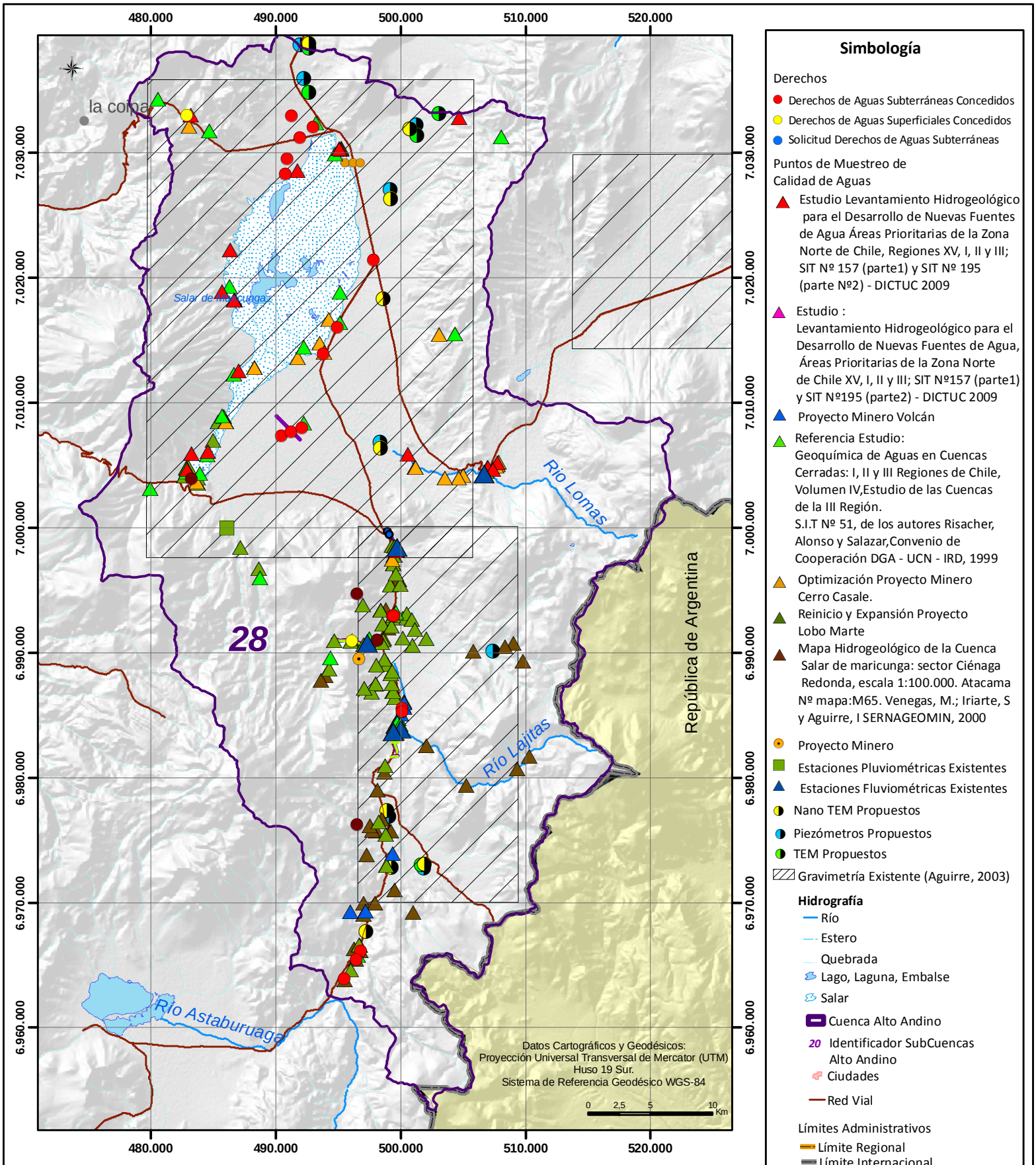
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 19	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 29



Simbología

Derechos

- Derechos de Aguas Subterráneas Concedidos
- Derechos de Aguas Superficiales Concedidos
- Solicitud Derechos de Aguas Subterráneas

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

- Estudio Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II y III; SIT Nº 157 (parte1) y SIT Nº 195 (parte Nº2) - DICTUC 2009
- Estudio : Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua, Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile XV, I, II y III; SIT Nº157 (parte1) y SIT Nº195 (parte2) - DICTUC 2009
- Proyecto Minero Volcán
- Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV,Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999
- Optimización Proyecto Minero Cerro Casale.
- Reinicio y Expansión Proyecto Lobo Marte
- Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Salar de maricunga: sector Ciénaga Redonda, escala 1:100.000. Atacama Nº mapa:M65. Venegas, M.; Iriarte, S y Aguirre, I SERNAGEOMIN, 2000

- Proyecto Minero
- Estaciones Pluviométricas Existentes
- Estaciones Fluviométricas Existentes
- Nano TEM Propuestos
- Piezómetros Propuestos
- TEM Propuestos
- Gravimetría Existente (Aguirre, 2003)

Hidrografía

- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos

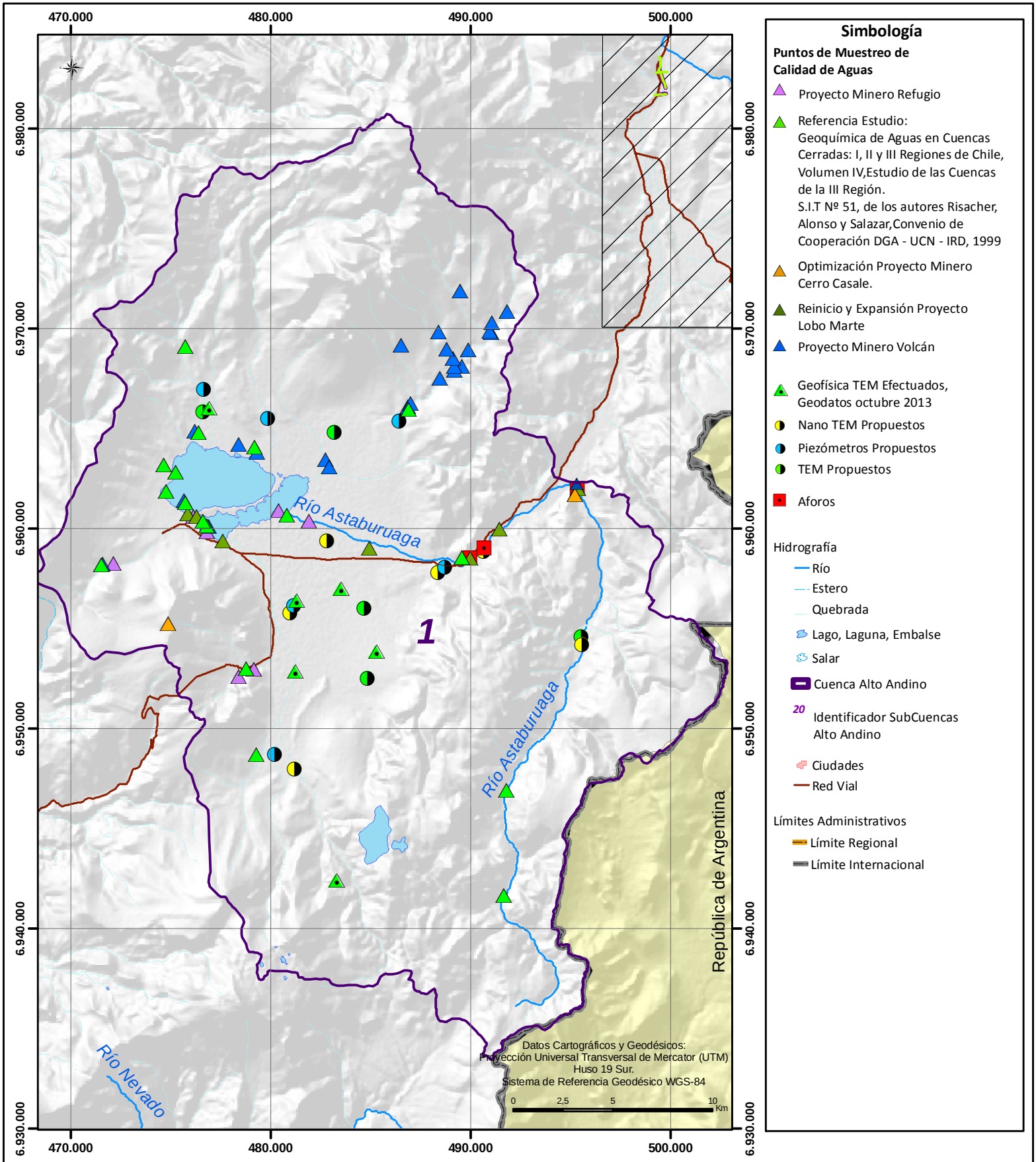
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 20	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 28



Simbología

Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas

- Proyecto Minero Refugio
- Referencia Estudio: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones de Chile, Volumen IV,Estudio de las Cuencas de la III Región. S.I.T Nº 51, de los autores Risacher, Alonso y Salazar,Convenio de Cooperación DGA - UCN - IRD, 1999
- Optimización Proyecto Minero Cerro Casale.
- Reinicio y Expansión Proyecto Lobo Marte
- Proyecto Minero Volcán
- Geofísica TEM Efectuados, Geodatos octubre 2013
- Nano TEM Propuestos
- Piezómetros Propuestos
- TEM Propuestos
- Aforos

Hidrografía
- Río
- Estero
- Quebrada
- Lago, Laguna, Embalse
- Salar
- Cuenca Alto Andino
- 20 Identificador SubCuencas Alto Andino
- Ciudades
- Red Vial

Límites Administrativos
- Límite Regional
- Límite Internacional

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

ESTUDIO
DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA

ESCALA	Nº FIGURA	FECHA	TÍTULO
Gráfica	14.14 - 21	DICIEMBRE 2013	Información Recopilada y Generada por Cuenca Cuenca 1

15. RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

a) Se desarrolló un estudio de recursos hídricos en 32 cuencas ubicadas en el sector Alto Andino de la III Región de Atacama, abarcando variados temas, tales como hidrología, geología, hidrogeología, trabajos de terreno correspondientes en ensayos geofísicos (TEM), aforos, diagnóstico de las estaciones fluviométricas existentes, balances hídricos, proposición de estaciones pluvio-nivométricas, fluviométricas, evaporimétricas, piezómetros, etc.
b) Se hizo una recopilación de todos los antecedentes de recursos hídricos existentes en estudios y EIA, derechos de aguas subterráneas y superficiales, antecedentes de calidad de aguas, isotopía, etc.
c) A través de una metodología específica aplicada, se llevó a cabo una priorización de cuencas, escogiendo, de las 32 en estudio, 9 cuencas. Las variables usadas para la priorización fueron: área de la cuenca, oferta hídrica, demandas de agua, proyectos mineros existentes, formaciones vegetacionales y variables compuestas. Las cuencas priorizadas fueron:

- Salar de Maricunga
- Salar de Pedernales
- Qda. Nevados de Jucalitos (Piedra Pómez)
- Laguna del Negro Francisco
- Laguna Verde
- Salar de Agua Amarga
- Salar de Gorbea
- Salar de la Azufrera
- La Laguna

d) Se desarrolló una campaña geofísica consistente en la ejecución de 20 puntos TEM en 4 de las 9 cuencas seleccionadas. Los puntos TEM fueron ubicados en aquellos sectores donde se contaba con poca información hidrogeológica.
e) Para cada una de las cuencas priorizadas, se desarrolló un completo estudio geológico, generando 9 planos geológicos con el máximo detalle que fue posible con los antecedentes disponibles; en la medida de los posible, se trazaron además perfiles hidrogeológicos

con los antecedentes de planos de construcción de pozos existentes; además se trazaron perfiles hidrogeológicos con los resultados de las prospecciones geofíscas efectuadas.

f) El estudio hidrogeológico específico desarrollado abarcó temas tales como determinación de volúmenes de almacenamiento, constantes elásticas de los rellenos, niveles de aguas subterráneas (trazado de isofreáticas), definición de acuíferos, recopilación de geofísica existente y geofísica efectuada especialmente para el presente estudio. A su vez, en función de la información faltante en cada una de las subcuencas, se propusieron piezómetros (ubicación y profundidad) para medir niveles de agua subterránea (y también que sirvieran para muestrear calidad de aguas subterráneas) y se propuso prospecciones geofíscas correspondientes a TEM y NanoTem que se debieran hacer a futuro, de modo de tener un acabado conocimiento de la hidrogeología en las cuencas priorizadas.
g) Con la información hidrogeoquímica existente, se desarrolló un estudio de conexiones entre cuencas vecinas (subterráneas y superficiales), a través de la construcción de diagramas de piper. El resultado fue que entre las cuencas analizadas, existirían conexiones en 6 pares de cuencas, de entre 9 analizadas.
h) Se efectuó un modelo de balance hídrico para cada una de las 9 cuencas priorizadas. El Modelo implementado permitió realizar un balance hídrico a escala mensual, a nivel superficial, subsuperficial y subterráneo, para cada una de las 9 cuencas priorizadas. Las principales conclusiones emanadas de los balances realizados fueron las siguientes:

- Si bien, en términos de lámina de agua, la precipitación anual es muy inferior a la evaporación de tanque, la precipitación se produce en toda la superficie de cada subcuenca, en cambio, la evaporación no. Esto debido a que mientras llueve, el nivel de saturación del aire es muy alto, lo que se traduce en una evaporación prácticamente nula durante ese evento. En consecuencia, mientras precipita, prácticamente toda el agua que cae sobre áreas no permeables bajo la isoterma cero, especialmente en las zonas de montaña, escurre superficialmente hacia las zonas bajas, y solo cuando deja de llover y el agua se encuentra en relleno permeable, se produce evaporación. Esta diferencia importante entre las superficies

expuestas a precipitación y superficies evaporantes o evapotranspirantes, se traduce en una importante diferencia entre caudales de precipitación y caudales de evaporación.

- El balance hídrico realizado permite establecer que todas las cuencas existen caudales subterráneos salientes. Considerando que este balance refleja un comportamiento medio del sistema a través de los años, y dado que en el pasado estos acuíferos no fueron explotados, se debe concluir que cada cuenca debe tener algún sistema de descarga subterránea hacia una cuenca vecina, a partir de un cierto umbral de almacenamiento. De lo contrario, en la actualidad, todas las cuencas endorreicas estudiadas, se encontrarían sobrepasadas en su almacenamiento máximo.

- Los caudales subterráneos salientes en cada cuenca, dependen entre otras muchas variables, de los caudales de entrada desde otras cuencas. Considerando la falta de antecedentes disponibles respecto a la conexión de cuencas y los caudales de agua traspasados entre ellas, los caudales subterráneos salientes aquí determinados deberán ser recalculados cuando se disponga de más antecedentes de estos caudales de transferencia. Naturalmente, si en una cuenca dada se está suponiendo que no hay aporte de aguas subterráneas desde una cuenca vecina, es esperable que el caudal de salida así calculado, sea menor al que se produce si efectivamente se comprueba la existencia de estos aportes.

- Existe una importante diferencia entre las precipitaciones y evaporaciones calculadas según las isolíneas del Balance Hídrico y según el gradiente de precipitaciones y evaporación de tanque a partir de una Estación Base. Si se compara, los datos calculados con las isolíneas del Balance Hídrico o calculados con el método del gradiente, las precipitaciones del primero resultan muy superiores a las del segundo, y las evaporaciones del primero inferiores a las del segundo. Esto se traduce en una gran diferencia en los resultados de caudales subterráneos de salida en cada cuenca, siendo muy superiores los determinados con los datos del Balance Hídrico.

- Con relación a lo señalado en el párrafo anterior, es necesario reafirmar la importancia que tiene en el cálculo de los balances hídricos, los datos hidrometeorológicos utilizados, particularmente las precipitaciones y la evaporación de tanque, de manera que es relevante realizar todos los esfuerzos posibles para acumular información confiable en este sentido, instalando nuevas y mejores estaciones de medición. Igualmente es necesario establecer con mayor precisión, en qué superficies ocurre evapotranspiración de importancia, y en cuáles no. Esto debido a que la superficie evapotranspirante es un dato que también tiene gran importancia en la modelación.

- La calibración de los parámetros del modelo de balance hídrico se basa en una comparación de caudales superficiales esperados y simulados. La escasez de estaciones de control fluviométrico ha hecho necesario la utilización de un método de generación de caudales, que en este caso ha sido el Método del Factor de Forma. Si bien se considera que este método es más confiable que los métodos usados en estudios anteriores como Jica (1995) o el método de transposición de caudales, aún dista mucho de ser un método completamente validado; al día de hoty, es un método que tiene una mejor aproximación que los desarrollados en estudios anteriores. En ese sentido, es relevante desarrollar y validar nuevas metodologías para una estimación confiable de la escorrentía superficial en cuencas no controladas del tipo de las que se presentan en en el altiplano de la III Región (cuencas endorreicas). Metodologías que consideren por ejemplo el efecto simultáneo de las precipitaciones y la forma de la cuenca en los caudales superficiales. A su vez, es necesario generar procedimientos para el cálculo de parámetros de forma que posean menor grado de incertidumbre que el utilizado en este estudio, ya que, por ejemplo, el Factor de Forma utilizado aquí, se basa en la longitud del cauce principal, y se sabe además que en varias cuencas del área de estudio hay multiples cauces que pueden ser considerados principales, o a veces simplemente, el agua sigue un recorrido más bien superficial y no longitudinal.

- Por lo anterior, los resultados de los balances realizados son solo referenciales, y las recargas subterráneas calculadas pueden sufrir modificaciones importantes al cambiar los procedimiento de calibración y modelación. En ese sentido, los valores de caudales subterráneos obtenidos no pueden ser utilizados para cuantificar disponibilidad para establecer nuevos derechos de agua. No obstante, el hecho de que en todas las cuencas se haya obtenido un caudal subterráneo saliente hacia cuencas vecinas, es un antecedente que no debe ser desestimado, y que se debe fundamentalmente a que los volúmenes de evaporación son inferiores a los volúmenes de precipitación.

i) Se desarrolló un SIG que incluyó el procesamiento de toda la información recopilada y nueva que fue generada.

j) Finalmente, en función de las necesidades de información detectadas en los estudios hidrogeológicos desarrollados y de los balances hídricos efectuados, se propusieron la instalación de estaciones pluvio-nivométricas, fluviométricas y evaporimétricas, todas ellas con datalogger y transmisión automática de la información vía satélite. Además, se propusieron la construcción de piezómetros, muestreos de calidad de aguas, isotopía y geofísica que se debiera hacer en un futuro cercano. Todas las estaciones fueron costeadas (suministro, instalación, puesta en marcha, costos de operación y mantenimiento, etc.).