



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

METODOLOGÍA PARA LA DELIMITACIÓN Y SECTORIZACIÓN DE ACUÍFEROS A NIVEL NACIONAL

INFORME FINAL

**REALIZADO POR:
GCF INGENIEROS LTDA.
S.I.T. N° 341**

Santiago, Octubre 2014

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Sr. Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas (TP)
Sr. Carlos Estévez Valencia

Jefe de División de Estudios y Planificación
Sr. Adrián Lillo Zenteno

Inspector Fiscal
Sr. Juan Carlos Salgado González

Inspector Fiscal (S)
Sr. Juan Salvador Atán Díaz

GCF INGENIEROS LTDA.

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Guillermo Cabrera Fajardo

Profesionales:

Ingeniero Civil Lem Mimica Viladrich
Ingeniero Civil Sergio Matus García
Ingeniero Civil Bruno Morales Ulloa
Abogada Isabel Margarita Morales Novoa
Geógrafo Salomón Vielma Pinto

ÍNDICE

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	8
2 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	9
2.1 Documentos e Informes Revisados por Región (Fuentes: DGA, DOH, CNR, Sernageomin, Empresas de Servicios Sanitarios, etc.)	12
2.2 Resumen de Sectorizaciones y Criterios Utilizados, por Región	29
2.3 Algunas Consideraciones sobre la Experiencia Extranjera	36
2.3.1 Consideraciones Generales.....	36
2.3.2 Documentos Consultados para Seleccionar un Caso Extranjero	38
2.3.3 Ficha Caso Extranjero.....	39
3 ANÁLISIS TÉCNICO-LEGAL DEL CONCEPTO DE "SECTOR HIDROGEOLÓGICO DE APROVECHAMIENTO COMÚN"	41
3.1 Introducción.....	41
3.2 Normativa que Regula la Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas	41
3.3 El concepto de Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común	42
3.4 Inconsistencias, Deficiencias Legales y Complejidad en la Aplicación del concepto se Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común	43
4 ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE INFORMACIÓN RELEVANTE	44
4.1 Criterios de Sectorización	45
4.2 Sectorización Mediante Cuencas Hidrológicas	45
4.2.1 Calidad de la Información Geográfica	45
4.2.2 Acuíferos en Roca	46
4.3 Sectorización de Acuíferos por Contraste de Valores de Parámetros Elásticos ...	47
4.4 Sectorización Mediante Barreras Hidrogeológicas	48
4.5 Concentración de Captaciones de Aguas Subterráneas	49
4.6 Ventajas y Desventajas de los Criterios Utilizados	49
5 FOCUS GROUP	50
6 DEFINICIÓN DE CRITERIOS Y PROPUESTA METODOLÓGICA PARA SECTORIZACIÓN DE ACUÍFEROS.....	52
6.1 Definición de Criterios	52
6.2 Propuesta Metodológica para Sectorizar Acuíferos	53
6.2.1 Identificación de Zona de Estudio.....	55
6.2.2 Base Topográfica	56
6.2.3 Red de Drenaje	57
6.2.4 Sectorización Preliminar.....	58
6.2.5 Hidrogeología	60

6.2.6	Captaciones Subterráneas.....	63
6.2.7	Sectorización Acuífera	65
6.2.8	Elementos o Casos Adicionales a Considerar para la Sectorización Acuífera	66
6.2.9	Vínculos.....	67
6.2.10	Productos Entregables Asociados a cada Nivel de Información	68
6.2.11	Comparación de la Metodología con Caso Extranjero	70
7	LIMITACIONES Y CARTOGRAFÍAS DE APLICABILIDAD Y DE EXCEPCIÓN	78
8	ACCIONES NECESARIAS PARA UNA ADECUADA SECTORIZACIÓN	80
9	APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE SECTORIZACIÓN ACUÍFERA	113
9.1	Zona 1: Valle de Pan de Azúcar (Cuenca Culebrón – Lagunillas)	113
9.1.1	Identificación de Zona de Estudio.....	113
9.1.2	Base topográfica.....	114
9.1.3	Red de drenaje	115
9.1.4	Sectorización preliminar	116
9.1.5	Hidrogeología	119
9.1.6	Captaciones de agua subterránea	128
9.1.7	Sectorización definitiva	131
9.1.8	Vínculos.....	133
9.1.9	Proyecto SIG y respaldo digital SIG Pan de Azúcar.....	136
9.2	Zona 2: Sector Salares Elvira y Los Morros (Cuenca Gaby – Los Morros)	137
9.2.1	Identificación de Zona de Estudio.....	137
9.2.2	Base topográfica.....	138
9.2.3	Red de drenaje	139
9.2.4	Sectorización preliminar	140
9.2.5	Hidrogeología	141
9.2.6	Captaciones de agua subterránea	142
9.2.7	Sectorización definitiva	169
9.2.8	Vínculos.....	171
9.2.9	Proyecto SIG y respaldo digital Elvira-Los Morros.....	173
10	RECONOCIMIENTO EN TERRENO DE LAS CUENCAS SECTORIZADAS	174
11	MANUAL DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DELIMITACIÓN Y SECTORIZACIÓN DE ACUÍFEROS.....	174
12	CONCLUSIONES	174

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1-1. Listado I Región (23 Documentos, 14 digitalizados)	12
Tabla 2.1-2. Listado II Región (25 Documentos, 22 digitalizados)	13
Tabla 2.1-3. Listado III Región (26 Documentos, 24 digitalizados)	15
Tabla 2.1-4. Listado IV Región (23 Documentos, 21 digitalizados)	17
Tabla 2.1-5. Listado V Región (42 Documentos, 38 digitalizados)	19
Tabla 2.1-6. Listado VI Región (17 Documentos, 12 digitalizados)	21
Tabla 2.1-7. Listado VII Región (21 Documentos, 12 digitalizados)	22
Tabla 2.1-8. Listado VIII Región (8 Documentos, 4 digitalizados)	24
Tabla 2.1-9. Listado IX Región (3 Documentos, 1 digitalizado)	24
Tabla 2.1-10. Listado X Región (3 Documentos, 0 digitalizado).....	25
Tabla 2.1-11. Listado XI Región (1 Documento, 0 digitalizado).....	25
Tabla 2.1-12. Listado XII Región (3 Documento, 0 digitalizado).....	25
Tabla 2.1-13. Listado XIII Región (23 Documento, 18 digitalizado)	26
Tabla 2.1-14. Listado XIV Región (3 Documentos, 1 digitalizado)	27
Tabla 2.1-15. Listado XV Región (13 Documentos, 12 digitalizados).....	28
Tabla 2.1-16. Listado XV, I, II y III (5 Documentos, 5 digitalizados)	28
Tabla 2.1-17. Listado XV, I, II, IV, V, RM y VI (1 Documento, 1 digitalizado)	29
Tabla 2.1-18. Listado Nacional (2 Documentos, 2 digitalizados).....	29
Tabla 2.2-1. Resumen de Tipos de Sectorizaciones y Criterios Utilizados, Por Región.....	30
Tabla 4.6-1. Ventajas y Desventajas de Criterios Utilizados para Sectorizar Acuíferos ...	49
Tabla 5-1. Asistentes al Focus Group.....	50
Tabla 6.2-1. Listado de productos entregables al final de cada paso de la metodología ..	68
Tabla 8-1. Principales Acuíferos por Región, Información Disponible y Requerida para la Aplicación Integral de la Metodología de Sectorización	81
Tabla 9.1-1. Sectores acuíferos	131

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 6.2-1. Esquema de sectorización acuífera	55
Figura 6.2-2. Límites de zona de interés	56
Figura 6.2-3. Ráster SRTM de zona de interés	57
Figura 6.2-4. Red de drenaje superficial	58
Figura 6.2-5. Sectorización preliminar según subcuencas.....	60
Figura 6.2-6. Captaciones subterráneas según datos de derechos.....	64
Figura 6.2-7. Sectorización acuífera	66
Figura 6.2-8. Zona de estudio cuenca del río Oreti	71
Figura 6.2-9. Información cartográfica en estudio cuenca del río Oreti.....	71
Figura 6.2-10. Corte geológico en estudio cuenca del río Oreti	73
Figura 6.2-11. Tipos de suelos en estudio cuenca del río Oreti.....	74
Figura 6.2-12. Estratigrafía de un sondaje perforado en cuenca del río Oreti	75
Figura 6.2-13. Captaciones en cuenca del río Oreti	76
Figura 6.2-14. Sectores acuíferos en cuenca del río Oreti.....	77
Figura 7-1. Definición de subcuencas	79

Figura 9.1-1. Límites de zona de interés	114
Figura 9.1-2. Ráster ASTER de zona de interés.....	115
Figura 9.1-3. Red de drenaje superficial	116
Figura 9.1-4. Sectorización preliminar según subcuencas.....	117
Figura 9.1-5. Corrección de sectorización preliminar según subcuencas	118
Figura 9.1-6. Sectorización preliminar según subcuencas (corregida)	119
Figura 9.1-7. Zonas de relleno y roca	120
Figura 9.1-8. Espesor del relleno	121
Figura 9.1-9. Perfil longitudinal Valle de Pan de Azúcar	122
Figura 9.1-10. Perfiles zona sur del Valle Pan de Azúcar	123
Figura 9.1-11. Perfiles E73 y E12. Zona central del Valle de Pan de Azúcar	124
Figura 9.1-12. Perfil E1, Zona desembocadura estero Culebrón y Corazón de María	125
Figura 9.1-13. Rangos de transmisibilidades [m ² /d] en valle Pan de Azúcar.....	127
Figura 9.1-14. Captaciones catastradas primer semestre de 2014.....	129
Figura 9.1-15. Isofreáticas primer semestre de 2014	130
Figura 9.1-16. Sectorización definitiva.....	132
Figura 9.1-17. Vínculos de flujo entre sub-sectores.....	134
Figura 9.1-18. Perfil longitudinal de divisoria subterránea	135
Figura 9.2-1. Límites de zona de interés	137
Figura 9.2-2. Ráster ASTER de zona de interés.....	138
Figura 9.2-3. Red de drenaje superficial	139
Figura 9.2-4. Sectorización preliminar según subcuencas.....	140
Figura 9.2-5. Geología.....	143
Figura 9.2-6. Pozos en la zona de estudio	144
Figura 9.2-7. Ubicación de estaciones TEM de expediente NE-0203-1526	145
Figura 9.2-8. Leyenda perfiles TEM Figura 9.2-9 a Figura 9.2-12	145
Figura 9.2-9. Perfiles TEM L1N, L2N y L3N. Expediente NE-0203-1526	146
Figura 9.2-10. Perfiles TEM L4N, L5N y L6N. Expediente NE-0203-1526	147
Figura 9.2-11. Perfiles TEM L7N, L8N y L9N. Expediente NE-0203-1526	148
Figura 9.2-12. Perfiles TEM L10N, L11N y L12N. Expediente NE-0203-1526	149
Figura 9.2-13. Perfil TEM expediente NE-0203-1982	150
Figura 9.2-14. Perfil TEM A-2 de expediente NE-0203-2622	151
Figura 9.2-15. Perfil TEM A-1 de expediente NE-0203-2622	152
Figura 9.2-16. Perfil TEM A-3 de expediente NE-0203-2622	153
Figura 9.2-17. Perfil TEM expediente NE-0203-2680	154
Figura 9.2-18. Perfil TEM expediente NE-0203-5146	155
Figura 9.2-19. Expediente NE-0203-1526 Pozo Arma-1	156
Figura 9.2-20. Expediente NE-0203-1526 Pozo Arma-2.	157
Figura 9.2-21. Expediente NE-0203-1526 Pozo Arma-2 (continuación)	158
Figura 9.2-22. Expediente NE-0203-1526 Pozo Arma-3	159
Figura 9.2-23. Expediente NE-0203-1526 Pozo Arma-3 (continuación)	160
Figura 9.2-24. Expediente NE-0203-1924 Pozo MAE-3	161
Figura 9.2-25. Expediente NE-0203-1924 Pozo MAE-3 (continuación)	162
Figura 9.2-26. Expediente NE-0203-1026 Pozo LMA-1.....	163
Figura 9.2-27. Expediente NE-0203-1026 Pozo LMA-1 (continuación).....	164
Figura 9.2-28. Expediente NE-0203-1026 Pozo LMA-2.....	165
Figura 9.2-29. Expediente NE-0203-1026 Pozo LMA-3.....	166
Figura 9.2-30. Expediente NE-0203-1525 Pozo RHE-99-5	167
Figura 9.2-31. Transmisibilidades en pozos cercanos a la zona de estudio	168
Figura 9.2-32. Sectorización definitiva y vínculos entre sectores	170
Figura 9.2-33. Conductividades eléctricas medidas en el área de estudio (mS/cm=miliSiemens/cm=1/1000 μ S/cm)	172

ANEXOS:

- Anexo N°1: Fichas de Recopilación de Antecedentes (en digital).
Anexo N°2: Documentos y Estudios Recopilados (en digital).
Anexo N°2.1: Documentos y Estudios Recopilados. Estudios a Nivel Nacional (en digital).
Anexo N°2.2: Documentos y Estudios Recopilados. Experiencia Extranjera (en digital).
Anexo N°3: Propuesta de Mejoramiento a la Normativa Vigente
Anexo N°4: Minuta del Focus Group.
Anexo N°5: Estratigrafía y Niveles Estáticos de Pozos Sector Salares Elvira y Los Morros.
Anexo N°6: Información Geofísica en Sector Salares Elvira y Los Morros.
Anexo N°7: Certificados de Calidad de Aguas Sector Salares Elvira y Los Morros
Anexo N°8: Reconocimiento en Terreno de Cuencas Sectorizadas (fotografías).

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La Dirección General de Aguas tiene entre sus principales funciones, el estudio continuo de las fuentes de agua, con el objetivo de lograr un aprovechamiento sustentable de dichos recursos hídricos. Además, utilizando como marco legal lo establecido en el Código de Aguas y en el Reglamento de Aguas Subterráneas, debe gestionar las solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas, para ya sea constituirlos como derechos definitivos o provisionales, o denegarlas en mérito de los antecedentes administrativos, técnicos y legales correspondientes.

Un elemento fundamental que se ha utilizado en los procedimientos para otorgar derechos de aprovechamiento ha sido el "Sector hidrogeológico de aprovechamiento común", que ha sido definido en el Reglamento de Aguas Subterráneas (Decreto N°203 de 2013) como "el acuífero o parte de un acuífero cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión en forma independiente".

El estudio y conocimiento de los sistemas acuíferos en el país, si bien ha sido creciente, no ha ido a la par con el aumento sostenido de la demanda por derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, lo que ha motivado la necesidad de disponer de una metodología que permita delimitar acuíferos o sectores acuíferos, que incluya una interpretación práctica del sector hidrogeológico de aprovechamiento común, y que considere los aspectos tanto legales, como técnicos y administrativos que se deriven de su aplicación.

Para ello se ha licitado la realización del presente estudio con el objetivo general de proponerla metodología señalada, que permita delimitar sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, que sea objetiva, científica y de aplicación institucional desde el punto de vista de la administración de los recursos hídricos.

En términos de objetivos específicos, se pueden señalar los siguientes:

- Realizar un análisis técnico legal del concepto de "Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común".
- Realizar una sistematización de las sectorizaciones adoptadas por la DGA actualmente.
- Realizar un análisis de las metodologías aplicadas en las sectorizaciones actuales, clasificándolas.
- Elaborar una propuesta de metodología y procedimientos para la delimitación y sectorización de acuíferos a nivel nacional que cumpla con el objetivo general señalado previamente para que pueda ser incorporada al Manual de Procedimientos de la DGA.
- Aplicar la metodología en dos cuencas críticas que serán definidas en conjunto con la DGA.

Finalmente, la metodología propuesta se validará con su aplicación a 2 cuencas por definir.

2 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

Se ha realizado una recopilación exhaustiva de información en la DGA, de informes internos que se relacionan con la delimitación de sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, así como también informes de consultoría encargados donde se proponen sectorizaciones de acuíferos.

En particular, entre informes y documentos técnicos de la DGA, se han identificado del orden de 200 documentos que tienen relación con el tema; entre ellos se consideran contenidos relacionados con catastros, prospecciones geofísicas, hidrogeoquímica, modelos integrados y de acuíferos, etc.

Entre las fuentes de información complementaria consultadas, se tiene: Dirección de Obras Hidráulicas, Comisión Nacional de Riego, SERNAGEOMIN, IGM y algunas Empresas de Servicios Sanitarios, como ESSAT, EMSSAT y otras.

Para sistematizar la información, se elaboró en primer término una ficha de preselección de antecedentes (Ficha Tipo 1), que fue aplicada a la totalidad de los antecedentes disponibles. Como resultado de esa primera evaluación, se descartó un grupo de documentos, seleccionándose sólo los que representan un aporte relevante al tema.

Como paso siguiente, se complementó la ficha de evaluación, dando origen a la ficha de descripción de contenidos (Ficha Tipo 2) que se utilizó para los documentos seleccionados, la que fue aprobada por la Inspección Fiscal, y que indica los principales antecedentes contenidos en cada documento, ordenados por áreas temáticas y detalla el alcance de cada materia presentada. Los modelos de fichas aplicadas a los estudios recopilados son las que se presentan a continuación.

FICHAS PARA DEFINIR TIPO Y NIVEL DE INFORMACIÓN DE CADA DOCUMENTO

Ficha de Preselección de Antecedentes (Tipo 1)

Código DGA	
Título	
Autor	
Mandante	

Hidrología

Delimitación de cuencas	
Red de drenaje	
Precipitaciones	
Otros meteorología	
Fluviometría	
Aforos	

Hidrogeología

Geología	
Geofísica	
Catastro de captaciones	
Uso actual	
Uso histórico	
Permeabilidades	
Niveles freáticos actuales	
Niveles freáticos en el tiempo	
Cuantificación de recargas	

Modelo de flujo subterráneo

Calibración permanente	
Calibración Impermanente	
Operación futura	

Otros

Balance hídrico	
Calidad de aguas	
Derechos de agua	

Sectorización acuífera

Divisorias de cuenca hidrológica	
Divisorias de cuenca hidrogeológica	
Otro tipo sectorización	
Definición de vínculos	

Ficha de Descripción de Contenidos (Tipo 2)

Código DGA	
Título y Año	
Autor	
Mandante	

Características físicas

Delimitación de cuencas	
Morfología	
Geología regional	
Geología local	

Hidrología

Red de drenaje (Referencia)	
Precipitaciones	
Otros meteorología (Referencia)	
Escorrentía superficial	
Calidad de aguas e Isótopos	

Hidrogeología

Geofísica	
Catastro de captaciones	
Permeabilidades	
Uso de las aguas subterráneas	
Niveles freáticos	
Cuantificación de recargas	
Balance hídrico	
Modelación del flujo subterráneo	
Calidad de aguas e Isótopos	

Sectorización acuífera

Sectorización	
Según divisorias hidrológicas	
Según hidrogeología	
Según división administrativa	
Vínculos entre sectores	
Vínculo entre napa y cauces superficiales	
Referencia a otro Estudio	

Otros

¿Cuál es la información relevante utilizada en la sectorización?
¿Se señalan aspectos que podrían mejorar la sectorización?
¿Se incluyen otros antecedentes adicionales que puedan aportar al estudio?, ¿Cuáles?

Todas las fichas generadas en el proceso de revisión de antecedentes recopilados (Tipos 1 y 2) se presentan en el Anexo N°1 (en digital). Adicionalmente, se presenta como Anexo N°2 (en digital), el conjunto de documentos recopilados, ordenados por región.

2.1 Documentos e Informes Revisados por Región (Fuentes: DGA, DOH, CNR, Sernageomin, Empresas de Servicios Sanitarios, etc.)

A continuación, en las Tablas 2.1-1 a 2.1-18 se indica, por Región, para cada uno de los documentos recopilados y revisados: número de archivo (del Anexo N°2), código de informe (para los documentos que están en el sistema SAD de la DGA), título, mandante, autor y año de elaboración.

Tabla 2.1-1. Listado I Región (23 Documentos, 14 digitalizados)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
I-1	SDT4	Delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta. Humberto Peña Torrealba et al, DEP-DGA, 1996.
I-2	SDT68	Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector del acuífero de la Pampa del Tamarugal: minuta técnica. DARH, DGA, 1996.
I-3	SDT74	Disponibilidad aguas subterráneas sector Salar de Sur Viejo, I región: minuta técnica N°104. DARH, DGA, 2000.
I-4	SDT162	Actualización delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales, cuenca del río Caquena, región de Tarapacá. DEP, DGA, 2003.
I-5	SDT174	Estudio de investigación de la situación hidrogeológica en la formación Altos de Pica, por Tröger, Uwe, Gerstner, Daniela. DEP, DGA, sin año.
I-6	SDT240	Informe técnico N°453: Determinación de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas factibles de constituir en el acuífero del Salar de Llamara, I región. DARH, DGA, 2006.
I-7	SDT281	Reevaluación de los recursos hídricos subterráneos del acuífero del Salar de Llamara: informe técnico. DARH, DGA, 2009.
I-8	SDT311	Actualización de la oferta y la demanda de recursos hídricos subterráneos del sector hidrogeológico de aprovechamiento común Pampa del Tamarugal. DARH, DGA, 2011.
I-9	SDT329	Análisis de la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero de Pampa Caya, comuna de Pica, región de Tarapacá. DEP, DGA, 2012.
I-10	SIT48	Evaluación de recursos hídricos en el sector de Pica hoyo de la Pampa del Tamarugal I región. Salazar Méndez, Carlos, Rojas Badilla, Luis, Pollastri Jordan, Alberto, Comisión Chilena de Energía Nuclear, DGA, 1998.
I-11	SIT294	Levantamiento de Información Hidrogeología para la modelación del Acuífero de Pica, Cuenca de la Pampa del Tamarugal, Región de Tarapacá. GHD, DEP-DGA, 2012.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
I-12 *	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región) CNR-AC Ingenieros, 2003.
I-13 *	S/C	Regadío Codpa - Chaca (1969), citado en "Estudios Básicos de los Recursos Hídricos de los Valles de Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, Primera Región". AC Ingenieros Consultores Ltda., DOH, 2002.
I-14 *	S/C	Diagnóstico Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota hasta la Región del Maule. CNR-GCF Ingenieros, 2012-2013.
I-15 *	S/C	Estudio Aguas Subterráneas Sector Río Lauca, I Región. ESSAT -AC Ingenieros, 1995-1996.
I-16 *	S/C	Estudio Aguas Subterráneas Sector Costero Arica. ESSAT -AC Ingenieros, 1995 -1996.
I-17 *	S/C	Minuta Hidrogeológica Pozos Parque Nacional Lauca, Sector Río Lauca. AC Ing. Consultores, D. de Riego, 1994.
I-18 *	S/C	Análisis de Isótopos Estables en Parque Nacional Lauca y Precordillera, Relacionado con los Orígenes de las Aguas Subterráneas. AC Ing. Consultores, D. de Riego, 1995.
I-19 *	S/C	Análisis Operacional del Sistema Lauca - Azapa, I Región. CONIC-BF, D. de Riego, 1996.
I-20 *	S/C	Estudio Prueba de Larga Duración Valle del Río Lluta, Arica. I Región. ESSAT -AC Ingenieros, 1998.
I-21	S/C	Hidrogeología del Departamento de Arica. CORFO, Instituto de Investigaciones Geológicas, 1966.
I-22	S/C	Estudio Hidrogeológico Preliminar de la Cuenca del Río Lauca. Instituto de Investigaciones Geológicas, 1974.
I-23	SIT325	Levantamiento de Información Geofísica en la Región de Tarapacá. SIT 325. MOP, DGA-DEP. Con Potencial Consultores Ltda., 2013.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-2. Listado II Región (25 Documentos, 22 digitalizados)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
II-1	SDT4	Delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta. Humberto Peña Torrealba et al, DEP-DGA, 1996.
II-2	SDT69	Evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir derechos de aprovechamiento en las subcuencas afluentes al Salar de Atacama, II región: minuta técnica N°60. DARH, DGA, 1999.
II-3	SDT70	Acuífero de Sierra Gorda: minuta técnica N°120. DARH, DGA, 1999.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
II-4	SDT71	Determinación de la disponibilidad de aguas subterráneas en el sector de Aguas Blancas, comuna y provincia de Antofagasta, II región: minuta técnica N°162. DARH, DGA, 1999.
II-5	SDT119	Solicitud declaración área de restricción en la cuenca de Sierra Gorda, II región: minuta técnica N°11. DARH, DGA, 2001.
II-6	SDT127	Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector de Agua Verde: minuta hidrogeológica N°17. DARH, DGA, 1996.
II-7	SDT152	Modelación hidrogeológica sector pampa Llalqui, cuenca del río Loa, II región de Antofagasta. Carlos Salazar M., Luis Rojas B., DEP, DGA, 2003.
II-8	SDT153	Determinación de los derechos de aprovechamiento de agua subterránea factibles de constituir en los sectores de Calama y Llalqui, cuenca del río Loa, II región. DARH, DGA, 2003.
II-9	SDT216	Análisis de los posibles impactos por extracción de agua en el acuífero de Calama. DEP, DGA, 2005.
II-10	SDT324	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del acuífero del Salar de Atacama: informe técnico. DARH, DGA, 2012.
II-11	SDT331	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del acuífero de Sierra Gorda: informe técnico. DARH, DGA, 2012.
II-12	SDT339	Análisis de la oferta hídrica del Salar de Atacama. DEP, DGA, 2013.
II-13	SDT351	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común Ojos de San Pedro y Pampa Peineta: informe técnico. DARH, DGA, 2014.
II-14	SIT76	Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta: informe final. CONADI. DEP, DGA, 2001.
II-15	SIT86	Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta: cartografía temática. DEP, DGA, 2003.
II-16	SIT98	Actualización delimitación de acuíferos alimentadores de vegas y bofedales, II región. DEP, CONADI (Chile), DGA, 2004.
II-17	SIT111	Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta, año 2006: cartografía temática. DEP, DGA, 2006.
II-18	SIT210	Actualización de la evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir derechos de aprovechamiento en las subcuencas afluentes al Salar de Atacama, II región. GCF Ingenieros Consultores; DGA, 2010.
II-19	SIT291	Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. Arrau Ingeniería E.I.R.L., DEP-DGA, 2012.
II-20	SIT295	Estudio acuífero de Calama sector medio del río Loa, región de Antofagasta. Matraz Consultores Asociados, España. Universidad Politécnica de Cataluña, DEP-DGA, 2012.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
II-21	IT171	Informe técnico N°171: declaración área restricción acuífero de Aguas Blancas sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de: Rosario y Aguas Blancas. DARH, DGA, 2005.
II-22 *	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región) CNR-AC Ingenieros, 2003.
II-23 *	S/C (no disp. en digital)	Antecedentes técnicos para fundamentar recursos de reconsideración contra rechazo de oposiciones a solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en cuenca del río Loa: Expedientes ND-02-02-2310; 2265, 2260 y 2244 / por Molina, Juan, Santander, Luis, SOQUIMICH; SQM, 2003.
II-24 *	S/C	Diagnóstico Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota hasta la Región del Maule. CNR-GCF Ingenieros, 2012-2013.
II-25	SIT339	Análisis Integrado Río Loa, Región de Antofagasta. DGA, DEP – Knight Piésold, Mayo 2014.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-3. Listado III Región (26 Documentos, 24 digitalizados)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
III-1	SDT225	Análisis de la situación hidrológica e hidrogeológica de la cuenca del Salar de Maricunga, III región. Luis Rojas B., Carlos Salazar M., DEP-DGA, 2006.
III-2	SDT265	Definición sobre los derechos provisionales del área de restricción del acuífero de Copiapó: informe técnico. DARH, DGA, 2008.
III-3	SDT271	Reevaluación de los recursos hídricos subterráneos del acuífero del río Huasco aguas abajo del Embalse Santa Juana: informe técnico. DARH, DGA, 2009.
III-4	SDT272	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la quebrada de Carrizal: informe técnico. DARH, DGA, 2009.
III-5	SDT276	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en cuencas de la región de Atacama ubicadas entre el río Copiapó y la región de Antofagasta: informe técnico. DARH, DGA, 2009.
III-6	SDT296	Estrategia de recursos hídricos de la cuenca del río Copiapó: reporte complementario sobre la situación del acuífero de Copiapó entre La Puerta y Angostura. DEP, DGA, 2010.
III-7	SDT327	Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas otorgados en la cuenca del río Copiapó: informe técnico. DARH, DGA, 2012.
III-8	SDT334	Estimación de recargas en cuencas altiplánicas, región de Atacama. DEP, DGA, 2012.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
III-9	SIT30	Análisis y evaluación de los recursos hídricos en el valle del río Copiapó, III región. Álamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda., DGA, 1995.
III-10	SIT87	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del valle del río Copiapó. DEP, DGA, 2003.
III-11	SIT131	Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero de Huasco: modelación hidrogeológica del valle del río Huasco: informe técnico. DARH, DGA, 2007.
III-12	SIT198	Análisis y evaluación de los recursos hídricos subterráneos de los acuíferos costeros ubicados entre los ríos Salado y Huasco, III región de Atacama. DEP, Miguel Nenadovich y Compañía Ltda., DGA, 2010.
III-13	SIT332	Actualización de la modelación integrada y subterránea del acuífero de la cuenca del río Copiapó: informe final. Hidromas CEF Limitada, DEP, DGA, 2013.
III-14	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región) CNR-AC Ingenieros, 2003.
III-15	S/C	Estudio Integral de Riego del Valle de Huasco. CNR-CEDEC, 1985.
III-16	S/C	Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas en las Cuencas de Huasco y Mataquito. CNR-GCF Ingenieros, 2006.
III-17 *	S/C	Diagnóstico Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota hasta la Región del Maule. CNR-GCF Ingenieros, 2012-2013.
III-18 *	S/C	Exploración Fuentes Agua Potable Provincia de Chañaral. EMSSAT S. A., AC Ing. Consultores Ltda, 1998.
III-19	S/C	Estudio Hidrogeológico del Valle del Río Copiapó. Segmento Embalse Lautaro – Piedra Colgada, Región de Atacama. Aguirre et al. Subdirección Nacional de Geología, 1999.
III-20	S/C	Mapa Hidrogeológico de la Cuenca del Salar de Maricunga, Sector Salar de Maricunga. Subdirección Nacional de Geología. Documento de Trabajo N°13, Escala 1:100.000, 1999.
III-21	S/C	Hidrogeología de la Cuenca Laguna del Negro Francisco. Subdirección Nacional de Geología. Documento de Trabajo N°10, Escala 1:100.000, 1998.
III-22	S/C	Mapa Hidrogeológico del Valle del Río Copiapó entre Embalse Lautaro y Piedra Colgada. Subdirección Nacional de Geología. Documento de Trabajo N°14, Escala 1:50.000, 2000.
III-23	S/C	Mapa Hidrogeológico de la Cuenca del Salar de Maricunga, Sector Ciénaga Redonda. Subdirección Nacional de Geología. Documento de Trabajo N°18, Escala 1:100.000, 2000.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
III-24	S/C	Hidrogeología de la Cuenca Campo de Piedra Pómez - Laguna Verde, Región de Atacama. Subdirección Nacional de Geología. Carta Geológica de Chile, Serie Hidrogeología N°4, Escala 1:100.000, 2006.
III-25	S/C	Hidrogeología de la Cuenca Salar de Pedernales, Región de Atacama. Subdirección Nacional de Geología. Carta Geológica de Chile, Serie Hidrogeología N°3, Escala 1:100.000, 2005. (Hojas 1 y 2)
III-26	SIT322	Análisis integrado de gestión en cuenca del río Huasco, Región de Atacama: informe final. SIT 322. MOP, DGA-DEP. Knight Piésold, 2013.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-4. Listado IV Región (23 Documentos, 21 digitalizados)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
IV-1	SDT115	Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en sector del acuífero Lagunillas, provincia de Elqui, IV región, minuta técnica N° 11. DARH, DGA, 1996.
IV-2	SDT116	Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector del acuífero del estero Culebrón, provincia de Elqui, comuna de Coquimbo, IV región: minuta técnica N°12. DARH, DGA, 1996.
IV-3	SDT161	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Elqui, IV región: informe técnico. DARH, DGA, 2003.
IV-4	SDT176	Aplicación del modelo hidrogeológico valle pan de azúcar. DEP, DGA, 2004.
IV-5	SDT184	Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la Quebrada Los Choros, IV región: informe técnico. DARH, DGA, 2004.
IV-6	SDT195	Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la Quebrada Los Choros, IV región: informe técnico de actualización al 31 de diciembre de 2004. DARH, DGA, 2004.
IV-7	SDT207	Informe técnico N°170: área acuífero Quebrada Los Choros, sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de: Choros Altos, Punta Colorada y Tres Cruces. DARH, DGA, 2005.
IV-8	SDT228	Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero del valle del Elqui: informe técnico. DARH, DGA, 2006.
IV-9	SDT241	Informe técnico N°47: declaración área restricción sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Elqui Bajo, Santa Gracia y Serena Norte. DARH, DGA, 2007.
IV-10	SDT248	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del Choapa: informe técnico. DARH, DGA, 2007.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
IV-12	SDT270	Minuta técnica DARH N°42: declaración de área de restricción del sector hidrogeológico Culebrón – Lagunillas. DARH, DGA, 2003.
IV-11	SDT268	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Limarí: informe técnico. DARH, DGA, 2008.
IV-13	SIT50	Control y evaluación de recursos hídricos subterráneos IV región. Gobierno Regional Región de Coquimbo; AC Ingenieros Consultores Ltda., DGA, 1998.
IV-14	SIT96	Modelo de simulación Quebrada Los Choros: evaluación de los recursos hídricos en la Quebrada Los Choros, IV región Coquimbo. DEP, DGA, 2004.
IV-15	SIT106	Modelación hidrogeológica en quebrada Los Choros: comuna La Higuera, IV región Coquimbo. Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Civil, DGA, 2005.
IV-16	SIT109	Estudio de intrusión salina en acuíferos costeros: sector costa Quebrada Los Choros, IV región. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, DEP-DGA, 2005.
IV-17	SIT111	Análisis y evaluación de acuíferos de las cuencas de los ríos Los Choros y Huatulame. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. , DEP-DGA, 2006.
IV-18	SIT152	Evaluación de la explotación máxima sustentable de aguas subterráneas cuenca del río Quilimarí. DARH, DGA, 2008.
IV-19	SIT292	Investigación recarga artificial de acuíferos cuencas del río Choapa y Quilimarí, Región de Coquimbo. AC Ingenieros Consultores Ltda. DEP-DGA, 2012.
IV-20	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región) CNR-AC Ingenieros, 2003.
IV-21	S/C	Estudio Hidrogeológico y Proyectos de Captación de Aguas Subterráneas en Cubeta del Embalse Culimo, Cuenca del Río Quilimarí. DOH-GCF Ingenieros, 2011-2012.
IV-22 *	S/C	Diagnóstico Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota hasta la Región del Maule. CNR-GCF Ingenieros, 2012-2013.
IV-23 *	S/C	Exploración Capacidad de Aguas Subterráneas Cuenca de La Higuera, IV Región. DOH-MOP, Conic-BF - AC Ingenieros, 1998.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-5. Listado V Región (42 Documentos, 38 digitalizados)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
V-1	SDT15	Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
		del acuífero del valle de Casablanca, comuna de Casablanca, provincia de Valparaíso, V región: minuta técnica N°15. DARH, DGA, 1996.
V-2	SDT99	Análisis de disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en el acuífero del Valle de Casablanca, comuna de Casablanca, Provincia de Valparaíso, V Región: minuta técnica N°3. DARH, DGA, 2000.
V-3	SDT101	Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del río Aconcagua: informe técnico. DARH, DGA, 2001.
V-4	SDT117	Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector del acuífero del Valle de Petorca, provincia de Petorca, comuna de Petorca, V región: minuta técnica N°13. DARH, DGA, 1996.
V-5	SDT118	Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector del acuífero del Valle de la Ligua, provincia de Petorca, V región: minuta técnica N°14. DARH, DGA, 1996.
V-6	SDT130	Evaluación de los recursos subterráneos de las cuencas costeras de la V región: informe técnico. DARH, DGA, 2002.
V-7	SDT132	Caudales incrementales de extracción de aguas subterráneas cuenca del río Aconcagua. DEP, DGA, 2002.
V-8	SDT133	Informe de zonificación hidrogeológica para las regiones metropolitana y V. DARH, DGA, 2002.
V-9	SDT141	Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del río Aconcagua: informe de actualización al 31 de Marzo de 2002. DARH, DGA, 2002.
V-10	SDT166	Informe técnico N°54: actualización de la evaluación de los recursos hídricos subterráneos acuífero cuenca del río La Ligua, V región. DARH, DGA, 2004.
V-11	SDT182	Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del río Aconcagua: informe de actualización al 15 de Septiembre de 2004. DARH, DGA, 2004.
V-12	SDT185	Informe técnico N°84: declara área de restricción para el acuífero del río La Ligua. DARH, DGA, 2004.
V-13	SDT187	Informe técnico N°303: declara área de restricción para el acuífero del estero San Jerónimo. DARH, DGA, 2004.
V-14	SDT201	Evaluación de los recursos subterráneos de las cuencas costeras de la V región: informe de actualización al 31 de diciembre de 2004. DARH, DGA, 2005.
V-15	SDT205	Informe técnico N°167: declara área de restricción acuífero del Valle del Estero Casablanca: sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Lo Orozco, La Vinilla - Casablanca y Los Perales. DARH, DGA, 2005.
V-16	SDT208	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del valle del río Aconcagua escenario incremental sectores Quillota y Nogales. DEP, DGA, 2005.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
V-17	SDT213	Informe técnico N°281: declara área de restricción acuífero cuencas costeras V región, sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de: Estero Cachagua, Estero Papudo, Maipo Desembocadura, Sector Catapilco subsector La Laguna, Sector Horcón, Sector Quintero subsector Dunas de Quintero, Estero Las Salinas Sur, Estero Puchuncaví y Rocas de Santo Domingo. DARH, DGA, 2005.
V-18	SDT279	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del Estero Maitenlahue: informe técnico. DARH, DGA, 2009.
V-19	SDT352	Determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, Áreas de Restricción, acuífero de los ríos Petorca y La Ligua: Informe Técnico N°69. DARH, DGA, 2014.
V-20	SDT354	Delimitación Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común, Áreas de restricción, Valle del Estero Casablanca: Informe Técnico N°77. DARH, DGA, 2014.
V-21	SIT2	Estudio básico para la modelación del sistema de aguas subterráneas del valle de Casablanca. AC Ingenieros Consultores Ltda., DEP-DGA, 1991.
V-22	SIT13	Modelación del sistema de aguas subterráneas del valle de Casablanca: V región. AC Ingenieros Consultores Ltda. DEP, DGA, 1993.
V-23	SIT40	Estudio y modelo de simulación hidrogeológico zona de desembocadura del río Aconcagua. AC Ingenieros Consultores Ltda., DEP-DGA, 1997.
V-24	SIT45	Análisis y evaluación de los recursos hídricos de las cuencas de los ríos Petorca y Ligua. IPLA Ingeniería y Planificación, AC Ingenieros Consultores Ltda., DGA, 1998.
V-25	SIT73	Plan director para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Aconcagua. AC Ingenieros Consultores Ltda., DEP-DGA, 2001.
V-26	SIT97	Modelación hidrogeológica Valle del Estero Casablanca: informe técnico. DEP, DGA, 2004.
V-27	SIT125	Análisis de información hidrogeológica del valle del río Aconcagua para la actualización del modelo de operación del sistema: informe final. GCF Ingenieros Consultores, DEP-DGA, 2007.
V-28	SIT213	Caracterización hidrogeológica de la Isla de Pascua. Mauricio Claría Hofer, División de Hidrología; DGA, 2010.
V-29	SIT229	Condiciones hidrogeológicas Isla de Pascua, Chile. Errol L. Montgomery & Associates, Inc, Water Resources Consultants; DGA, 2011.
V-30	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región). AC Ingenieros, CNR, 2003.
V-31 *	S/C	Estudio "Modelo de Simulación Hidrogeológico Valle del río Aconcagua", elaborado por Ingendesa-AC Ingenieros para la DOH, 1998.
V-32	S/C	Estudio Integral de Riego de los Valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca (Nivel de Factibilidad). CNR, 1982. (Capítulo 6)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
V-33 *	S/C	Estudio Diagnóstico de los Recursos Subterráneos en el Sistema Hídrico Ligua y Petorca. GCF Ingenieros, CNR, 2011.
V-34	S/C	Estudio a Nivel de Diagnóstico del Proyecto Aconcagua, V Región. EDIC, CNR, 1995.
V-35	S/C	Mejoramiento de Agua Subterránea para Riego Ligua y Petorca. GCF Ingenieros, CNR, 2013.
V-36	S/C	Recursos Hídricos de Isla de Pascua. Estudio del Regadío de Isla de Pascua, Etapa I: Estudio Hidrogeológico. Álamos y Peralta, CNR, 1992.
V-37 *	S/C	Diagnóstico Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota hasta la Región del Maule. CNR-GCF Ingenieros, 2012-2013.
V-38 *	S/C	Estudio Integral de Optimización del Regadío del Valle de Putaendo, V Región. CNR - AC Ingenieros-Geofun-Procivil, 1999.
V-39	S/C	Mejoramiento Riego Ligua Petorca CNR, 2013
V-40	S/C	Modificación Modelos DGA Visual Modflow-MOS y MOS-PS para Determinación Disponibilidad Real de Aguas Subterráneas en el Valle del Aconcagua, Segunda Etapa. DOH-Dictuc, 2009.
V-41	S/C	Minuta técnica DEP N° 3: subdivisión del sector hidrogeológico de aprovechamiento común del estero Cartagena. MOP, DGA-DEP. Equipo de Trabajo: Miguel Ángel Caro H., Guillermo Tapia M., Adrián Lillo Z., 2013.
V-42	S/C	"Modelación Hidrogeológica de los acuíferos de Ligua y Petorca", MOP-DGOP, Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 2014

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-6. Listado VI Región (17 Documentos, 12 digitalizados)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
VI-1	SDT160	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la VI región: informe técnico. DARH, DGA, 2003.
VI-2	SDT209	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la VI región: modelación hidrogeológica de los Valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca: informe técnico. DARH, DGA, 2005.
VI-3	SDT222	Informe técnico N°351: declara área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas el sector hidrogeológico de aprovechamiento común denominado Estero Las Cadenas - Marchigüe. DARH, DGA, 2005.
VI-4	SDT229	Evaluación de la explotación máxima sustentable de los acuíferos de la VI región: modelación hidrogeológica de los Valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca: informe técnico. DARH, DGA, 2006.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
VI-5	SDT242	Informe técnico N°46: declaración área restricción sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Graneros - Rancagua y Olivar del Cachapoal. DARH, DGA, 2007.
VI-6	SDT245	Actualización de la oferta del recurso hídrico subterráneo en el sector acuífero de Codegua, VI región. DARH, DGA, 2003.
VI-7	SDT246	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del acuífero de Nilahue: informe técnico. DARH, DGA, 2003.
VI-8	SDT260	Informe técnico N°22: declaración área restricción sector hidrogeológico de aprovechamiento común del estero Alhué. DARH, DGA, 2008.
VI-9	SDT262	Informe técnico N°314: declaración área restricción sector hidrogeológico de aprovechamiento común de Codegua. DARH, DGA, 2007.
VI-10	SIT227	Diagnóstico de la red de aguas subterráneas región del Libertador Bernardo O'Higgins: informe final. INGEOREC, DEP, DGA, 2011.
VI-11 *	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región). AC Ingenieros, CNR, 2003.
VI-12 *	S/C	Estudio de Prefactibilidad Hoya del Río Rapel, Volumen 1. AGROIPLA, CNR, 1978.
VI-13 *	S/C	Estudio Hidrogeológico del Secano Interior y Costero Regiones VI a VIII. GCF Ingenieros, IICA, 2003.
VI-14 *	S/C	Diagnóstico de Recursos Hídricos en Secano Interior y Costero, VI a VIII Región. AC Ingenieros, CNR, 2003.
VI-15 *	S/C	Diagnóstico Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota hasta la Región del Maule. CNR-GCF Ingenieros, 2012-2013.
VI-16	S/C	Carta Hidrogeológica de Chile. Hoja Rancagua. N°1. Servicio Nacional de Geología y Minería, Escala 1:250.000, 1990.
VI-17	SIT318	Levantamiento hidrogeológico en cuencas pluviales costeras en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins y Región del Biobío: informe final. SIT318. MOP, DGA-DEP. Aqualogy Medioambiente Chile S.A., 2013.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-7. Listado VII Región (21 Documentos, 12 digitalizados)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
VII-1	SDT319	Balance hídrico preliminar acuífero Maule. DEP, DGA, 2011.
VII-2	SDT320	Modelación hidrogeológica cuenca del río Maule. DEP, DGA, 2011.
VII-3	SDT322	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Cauquenes: informe técnico. DARH, DGA, 2011.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
VII-4	SDT345	Estimación de la oferta hídrica en las cuencas de los esteros Belco y El Arenal. Michael Finger, Miguel Ángel Caro H., Adrián Lillo Z., DEP, DGA, 2013.
VII-5 *	SDT349 (no disp. en digital)	Estimación preliminar de la oferta hídrica del acuífero de la cuenca del río Reloca. Salgado, Juan Carlos; DEP, DGA, 2013.
VII-6 *	SDT350 (no disp. en digital)	Modelo hidrogeológico preliminar del acuífero de la cuenca del Estero Curepto. Salgado, Juan Carlos, DEP, DGA, 2013.
VII-7	SIT59	Exploración de los recursos hídricos subterráneos VII región. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Gobierno Regional del Maule, DGA, 1999.
VII-8	SIT90	Bases plan director para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Maule, diagnóstico. AC Ingenieros Consultores Ltda., DEP, DGA, 2003.
VII-9	SIT134	Plan director para la gestión de los recursos hídricos cuenca del río Maule: actualización del modelo de operación del sistema y formulación del plan. Luis Arrau del Canto Ing Consultores, DEP, DGA, 2007.
VII-10	SIT222	Levantamiento de información hidrogeológica para modelación cuenca del río Maule: informe final. GCF Ingenieros Consultores, DEP, DGA, 2010.
VII-11	SIT296	Estudio hidrogeológico cuenca del río Mataquito. Aquaterra Ingenieros Limitada., DEP, DGA, 2012.
VII-12	SIT319	Modelación hidrogeológica cuenca estero Los Puercos, Región del Maule: informe final. GCF Ingenieros. DEP, DGA, 2013.
VII-13	SIT321	Modelación hidrogeológica de la cuenca del Río Cauquenes, Región del Maule: informe final. GCF Ingenieros Consultores, DEP, DGA, 2013.
VII-14 *	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región) CNR-AC Ingenieros, 2003.
VII-15 *	S/C	Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito. CNR-CICA, 1978.
VII-16 *	S/C	Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Maule, Prefactibilidad (Parte IV). CNR-CEDEC, 1977.
VII-17 *	S/C	Estudio Hidrogeológico del Secano Interior y Costero Regiones VI a VIII. IICA- GCF Ingenieros, 2003.
VII-18 *	S/C	Diagnóstico de Recursos Hídricos en Secano Interior y Costero, VI a VIII Región. CNR-AC Ingenieros, 2003.
VII-19 *	S/C	Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas en las Cuencas de Huasco y Mataquito. CNR-GCF Ingenieros, 2006.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
VII-20 *	S/C	Diagnóstico Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota hasta la Región del Maule. CNR-GCF Ingenieros, 2012-2013.
VII-21	S/C	Carta Hidrogeológica de Chile. Hoja Talca. Nº2. Subdirección Nacional de Geología, Escala 1:100.000, 1995.

(*): Sin versión digitalizada

Tabla 2.1-8. Listado VIII Región (8 Documentos, 4 digitalizados)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
VIII-1	SIT258	Estudio hidrogeológico cuencas Bío-Bío e Itata. DGA-DEP, Aquaterra Ingenieros Ltda., 2011.
VIII-2	SIT297	Estudio hidrogeológico cuenca Bío-Bío. DGA-DEP, Aquaterra Ingenieros Ltda., 2012.
VIII-3 *	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región) CNR-AC Ingenieros, 2003.
VIII-4 *	S/C	Proyecto Itata: Estudio Hidrológico y Situación Actual Agropecuaria. CNR-Proitata, 1992.
VIII-5 *	S/C	Estudio Hidrogeológico del Secano Interior y Costero Regiones VI a VIII. IICA- GCF Ingenieros, 2003
VIII-6 *	S/C	Diagnóstico de Recursos Hídricos en Secano Interior y Costero, VI a VIII Región. CNR-AC Ingenieros, 2003.
VIII-7	SIT320	Modelación hidrogeológica cuenca Itata bajo, Región del BíoBío: informe final. SIT320. MOP, DGA-DEP. Aqualogy Medioambiente Chile S.A., 2013.
VIII-8	SIT318	Levantamiento hidrogeológico en cuencas pluviales costeras en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins y Región del Biobío: informe final. SIT318. MOP, DGA-DEP. Aqualogy Medioambiente Chile S.A. 2013.

(*): Sin versión digitalizada

Tabla 2.1-9. Listado IX Región (3 Documentos, 1 digitalizado)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
IX-1	SIT74	Plan director para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Imperial División de Estudios y Planificación, AC Ingenieros Consultores Ltda.; DGA, 2001.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
IX-2 *	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región) CNR-AC Ingenieros, 2003.
IX-3 *	S/C	Programa de Recuperación y Rehabilitación de Tierras con Riego y Drenaje, Regiones IX y X. DOH-AC Ingenieros, 1996-1997.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-10. Listado X Región (3 Documentos, 0 digitalizado)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
X-1 *	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región) CNR-AC Ingenieros, 2003.
X-2 *	S/C	Exploración de recursos subterráneos cuenca del río Bueno, X Región, DOH, AC Ingenieros, 2002.
X-3 *	S/C	Programa de Recuperación y Rehabilitación de Tierras con Riego y Drenaje, Regiones IX y X. DOH-AC Ingenieros, 1996-1997.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-11. Listado XI Región (1 Documento, 0 digitalizado)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
XI-1 *	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región) CNR-AC Ingenieros, 2003.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-12. Listado XII Región (3 Documento, 0 digitalizado)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
XII-1 *	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región) CNR-AC Ingenieros, 2003.
XII-2 *	S/C	Catastro y Evaluación de Recursos Hídricos Subterráneos de la XII Región. DGA-AC Ingenieros, 1991.
XII-3 *	S/C	Estudio Integral de Riego y Drenaje de Magallanes – XII región. CNR - AC Ingenieros-Geofun-Hydroconsult, 1997.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-13. Listado XIII Región (23 Documento, 18 digitalizado)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
XIII-1	SDT76	Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en las cuencas de TilTil, Chacabuco - Polpaico, Lampa Colina inferior, Colina sur, Chicureo y Santiago Norte, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana: minuta técnica N°113. DARH, DGA, 1999.
XIII-2	SDT123	Análisis disponibilidad de recursos acuífero río Mapocho: informe técnico N°261. DGA – R. Metropolitana, 1995.
XIII-3	SDT124	Análisis de la DGA con respecto a recursos de reconsideración interpuestos por Inversiones Polcura S.A. a solicitudes de Derechos de Aprovechamiento: acuífero del río Mapocho: informe técnico N°163. DGA RM, 1996.
XIII-4	SDT133	Informe de zonificación hidrogeológica para las regiones metropolitana y V. DARH-DGA, 2002.
XIII-5	SDT151	Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos: sectores de TilTil, Chacabuco, Polpaico, Colina, Lampa - Colina Sur y Chicureo: informe técnico N°267, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. DGA RM, 1997.
XIII-6	SDT171	Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del río Maipo hasta la confluencia con el estero Puangue: informe técnico. DARH, DGA, 2004.
XIII-7	SDT186	Informe técnico N°236: declara área de restricción para el acuífero del Mapocho Alto. DARH, DGA, 2004.
XIII-8	SDT189	Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del Estero Yali hasta sector El Prado, Región Metropolitana. DARH, DGA, 2005.
XIII-9	SDT206	Informe técnico N°166: declaración área restricción sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de TilTil, Chacabuco-Polpaico, Lampa, Colina Sur, Santiago Norte y Santiago Central. DARH, DGA, 2005.
XIII-10	SDT212	Informe técnico N°270: declara área de restricción sector hidrogeológico de aprovechamiento común de Yali Alto, Provincia de Melipilla. DARH, DGA, 2005.
XIII-11	SDT224	Área de restricción sector hidrogeológico de aprovechamiento común de Yali Bajo El Prado. DARH, DGA, 2005.
XIII-12	SDT250	Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero Puangue-Melipilla: informe técnico. DARH, DGA, 2007.
XIII-13	SDT259	Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero del Yali: actualización modelación hidrogeológica del estero Yali. DARH, DGA, 2008.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
XIII-14	SDT267	Informe técnico N°128: declaración área restricción subsectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Puangue Alto, Puangue Medio, Cholqui, Popeta, Melipilla y La Higuera del acuífero de Puangue-Melipilla. DARH, DGA, 2008.
XIII-15	SIT62	Modelo de simulación hidrológico operacional cuencas de los ríos Maipo y Mapocho. DEP, DGA, Ayala, Cabrera y Asociados Ing. Consultores Ltda., 2000.
XIII-16	SIT118	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del valle del estero Puangue: diagnóstico situación actual. DEP, DGA, 2006.
XIII-17	SIT119	Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero Santiago Sur: modelación hidrogeológica de las cuencas Maipo Mapocho: informe técnico. DARH, DGA, 2007.
XIII-18	SIT237	Evaluación de los recursos subterráneos del valle del estero Puangue: sectores Puangue Alto, Medio y Bajo, La Higuera, Cholqui, Popeta y Melipilla. DEP, DGA, 2006.
XIII-19 *	S/C	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. (Capítulo de Aguas Subterráneas en informes por Región) CNR-AC Ingenieros, 2003.
XIII-20 *	S/C	Modelo Hidrogeológico Cuenca Maipo-Mapocho. CNR-Alamos y Peralta, 1984.
XIII-21 *	S/C	Proyecto Maipo, Estudio Hidrológico e Hidrogeológico. CNR-IPLA, 1984.
XIII-22 *	S/C	Estudio Integral de Optimización del Regadío de la 3ª Sección del Río Maipo y Valles de Yali y Alhué. CNR-GEOFUN, 2001.
XIII-23 *	S/C	Diagnóstico Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota hasta la Región del Maule. CNR-GCF Ingenieros, 2012-2013.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-14. Listado XIV Región (3 Documentos, 1 digitalizado)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
XIV-1 *	S/C	Exploración de recursos subterráneos cuenca del río Bueno, X Región, DOH, AC Ingenieros, 2002.
XIV-2 *	S/C	Programa de Recuperación y Rehabilitación de Tierras con Riego y Drenaje, Regiones IX y X. DOH-AC Ingenieros, 1996-1997.
XIV-3	SIT293	Estudio cuencas principales Región de los Ríos. SIT 293. MOP, DGA-DEP. Amphos 21 Consulting Chile Ltda. 2012.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-15. Listado XV Región (13 Documentos, 12 digitalizados)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
XV-1	SDT27	Plan director para la gestión de recursos hídricos cuenca río San José. DGA, 1998.
XV-2	SDT109	Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector del Valle de Azapa: minuta técnica. DARH, DGA, 1996.
XV-3	SDT114	Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en el acuífero de la parte baja del río Lluta, Arica, I región: informe técnico N°297. DARH, DGA, 1998.
XV-4	SDT306	Plan de acción estratégico para el desarrollo hídrico de la región de Arica y Parinacota: documento borrador. DEP, DGA, 2010.
XV-5	SDT314	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en el sector acuífero de La Concordia: informe técnico. DARH, DGA, 2011.
XV-6	SDT328	Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas otorgados y en trámite en el acuífero del río Lluta: informe técnico. DARH, DGA, 2012.
XV-7	SDT330	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del acuífero de la parte baja del río Lluta: informe técnico. DARH, DGA, 2012.
XV-8	SDT353	Delimitación Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común, Zona de Prohibición Acuífero valle de Azapa: Informe Técnico DARH N°84. DGA, 2014.
XV-9	SIT41	Modelo de simulación hidrológico operacional cuenca del río San José. DGA, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.
XV-10	SIT43	Plan director para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río San José. DGA, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1998.
XV-11	SIT201	Definición de estrategias de manejo sustentable para el acuífero de Azapa, XV región. DEP, DGA, AC Ingenieros Consultores Ltda., 2009.
XV-12	SIT312	Balance hídrico en sectores acuíferos de mediana criticidad (Quebrada Chaca-Vitor): informe final. DEP, DGA, Mayco Consultores, 2013.
XV-13 *	S/C	Diagnóstico Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota hasta la Región del Maule. CNR-GCF Ingenieros, 2012-2013.

(*): Sin versión digitalizada.

Tabla 2.1-16. Listado XV, I, II y III (5 Documentos, 5 digitalizados)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
003	SDT317	Estimación de recarga de cuencas altiplánicas seleccionadas. Rojas Badilla, Luis, Salazar Méndez, Carlos. DEP, DGA, 2011.
004	SIT251	Estimación de recargas en cuencas altiplánicas y precordilleranas de vertiente pacífica. DEP, DGA, Aquaterra Ingenieros Ltda., 2011.

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
005	SIT157	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. DEP, DGA, PUC de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 2008.
006	SIT221	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. DEP, DGA, GCF Ingenieros Consultores, 2010.
007	SIT195	Levantamiento hidrogeológico para el desarrollo de nuevas fuentes de agua en áreas prioritarias de la zona norte de Chile, Regiones XV, I, II y III, Etapa 2. DEP, DGA, PUC de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 2009.

Tabla 2.1-17. Listado XV, I, II, IV, V, RM y VI (1 Documento, 1 digitalizado)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
008	SIT183	Diagnóstico y clasificación de sectores acuíferos. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, DGA, Geohidrología Consultores, 2009.

Tabla 2.1-18. Listado Nacional (2 Documentos, 2 digitalizados)

Nº Archivo	Código de Informe	Título, Autor y/o Mandante, Año
001	SDT92	Situación de las aguas subterráneas en Chile: demanda, disponibilidad, caudales concedidos. Jaime Muñoz Rodríguez, DGA, 1999.
002	SDT170	Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos en la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas. Decreto Supremo N°46 de 200. DARH, DGA, 2004.

2.2 Resumen de Sectorizaciones y Criterios Utilizados, por Región

En la Tabla siguiente, se presenta, un resumen que indica, por Región: si se han realizado sectorizaciones de acuíferos y la forma en que se han realizado dichas delimitaciones y/o sectorizaciones en los trabajos revisados.

Tabla 2.2-1. Resumen de Tipos de Sectorizaciones y Criterios Utilizados, Por Región

Región	Sectorización (Si - No)	Criterios Utilizados
I-XV	Si	<p><u>Lluta</u>: No se sectorizó.</p> <p><u>Azapa</u>: Aunque la DGA no ha definido sectores acuíferos, algunos estudios realizan una subdivisión del acuífero en función de la existencia de sectores de vertientes o angostamientos del valle (Albarracines y Cabuza, respectivamente).</p> <p><u>Lauca</u>: Se ha hecho una subdivisión considerando los valores de la permeabilidad calculados en pruebas de bombeo a sólo algunas captaciones. Se definen 2 sectores: (1) Sistema Parque Nacional Lauca y (2) Precordillera (1995).</p> <p><u>Salar de Huasco</u>: se descarta la conexión entre éste y los manantiales de Pica según criterios: (1) geológico en primer lugar, (2) datos de niveles freáticos entre ambos acuíferos y (3) estudios de isótopos.</p> <p><u>Manantiales de Pica</u>: se descarta la conexión entre estos y el Salar de Huasco según criterios: (1) geológico en primer lugar, (2) datos de niveles freáticos entre ambos acuíferos y (3) estudios de isótopos. Posteriormente (2013) para el mismo mandante se realiza un estudio en el cual se delimita el acuífero de Pica considerando: (1) los límites de la cuenca y (2) criterios geológicos y geofísicos. Se determinan 4 sectores acuíferos dentro del área del estudio: (1) Longacho-Pica Norte, (2) Altos de Pica Norte, (3) Pica-Matilla y (4) Altos de Pica Quisma-Infiernillo.</p> <p><u>Vegas y Bofedales</u>: Se realiza una clasificación que distingue a las vegas localizadas en quebradas y las ubicadas en planicies y/o salares. Para las quebradas alimentadas por aguas superficiales provenientes de precipitaciones y por acuíferos se delimitó considerando el contacto litológico entre las unidades de relleno aluvial y las de roca presentes, como también el de la hoya aportante. Para las Vegas y Planicies y/o Salares se definió el límite de estas áreas en los puntos donde la probabilidad de influencia de una captación sobre la vega fuese la mínima.</p>
II	Si	<p><u>Acuífero Ojos de San Pedro</u>: Se determina la no conexión entre este acuífero y el asociado a Pampa Peineta según (1) información geológica, (2) estudios geofísicos y (3) estudios de trazadores.</p> <p><u>Acuífero Pampa Peineta</u>: Se determina la no conexión entre este acuífero y el asociado a Ojos de San Pedro según (1) información geológica, (2) estudios geofísicos y (3) estudios de trazadores.</p>

Región	Sectorización (Si - No)	Criterios Utilizados
		<p><u>Río Loa</u>: A partir del último estudio, que abarca toda la cuenca, se hace una sectorización basándose en antecedentes geológicos e hidrológicos.</p> <p><u>Salar de Atacama</u>: Se realiza una sectorización (1) considerando principalmente las subcuencas de acuerdo a la ubicación de sectores sensibles por su importancia ambiental (vegas y bofedales), (2) características hidrogeológicas diferentes. Posteriormente se realiza una sectorización según criterios geomorfológicos (1) identificando 13 sub-cuencas, correspondiendo las 12 y 13 al Salar de Atacama. Finalmente, en un estudio para el mismo mandante se opta por considerar un criterio hidrogeológico (1) definiendo 6 zonas o subcuencas aportantes al Salar, y se subdivide este último, en 4 zonas según las áreas de evaporación.</p> <p><u>Vegas y Bofedales</u>: Se realiza una clasificación que distingue a las vegas localizadas en quebradas y las ubicadas en planicies y/o salares. Para las quebradas alimentadas por aguas superficiales provenientes de precipitaciones y por acuíferos se delimitó considerando el contacto litológico entre las unidades de relleno aluvial y las unidades de roca presentes, como también el de la hoya aportante. Para las Vegas y Planicies y/o Salares se definió el límite de estas áreas en los puntos donde la probabilidad de influencia de una captación sobre la vega fuese la mínima.</p>
III	Sí	<p><u>Río Copiapó</u>: Se establecen límites entre sectores acuíferos en zonas de angostamientos del valle y de afloramientos de napas, considerando el comportamiento que han tenido los niveles de aguas subterráneas.</p> <p><u>Río Huasco</u>: Se establecen límites entre sectores acuíferos en zonas de angostamientos del valle y de afloramientos de aguas subterráneas. Se definen 8 sectores acuíferos.</p> <p><u>Cuencas costeras</u>: se establecen límites coincidentes con cuencas hidrológicas.</p>
IV	Sí	<p><u>Río Elqui</u>: (1) Límites en sectores de afloramientos de aguas subterráneas. (2) Cuencas laterales. (3) En la zona de la desembocadura se amplía el sector acuífero fuera de la cuenca hidrológica, abarcando zonas hidrogeológicamente homogéneas.</p> <p><u>Río Limarí</u>: (1) Subcuencas hidrológicas, (2) Límites en sectores de afloramientos de roca y de angostamientos del valle.</p>

Región	Sectorización (Si - No)	Criterios Utilizados
		<p><u>Río Choapa</u>: (1) Cuencas hidrológicas laterales, (2) Límites en sectores de angostamientos del valle y de afloramientos de aguas subterráneas.</p> <p><u>Río Quilimarí</u>: Límites en sectores de angostamientos y de afloramientos de roca.</p> <p><u>Esteros Culebrón y Lagunillas</u>: Inicialmente se considera un solo sector acuífero, pero en 2003 se subdivide en sectores según un criterio de cuencas hidrológicas.</p>
V	Sí	<p><u>Estero Casablanca</u>: (1) Cuenca principal y cuencas laterales. (2) angosturas en los valles, se realizó una sectorización que considera 4 sectores hidrogeológicos.</p> <p><u>Río Aconcagua</u>: (1) Límites en sectores de afloramientos de aguas subterráneas. (2) Cuencas laterales. (3) En la zona de la desembocadura se amplía el sector acuífero fuera de la cuenca hidrológica, abarcando zonas hidrogeológicamente homogéneas.</p> <p><u>Ríos Petorca y La Ligua</u>: A partir de (1) límites de cuencas y subcuencas y (2) características hidrogeológicas, se realizó una sectorización que considera 5 sectores hidrogeológicos en la cuenca del río Petorca y 7 en la cuenca del río La Ligua.</p> <p><u>Cuencas costeras</u>: se establecen límites coincidentes en general con cuencas hidrológicas, excepto en la desembocadura, ampliándose a lo largo de algunos tramos de la costa.</p>
VI	Si	<p><u>Cuenca de Cachapoal</u>: (1) cuenca principal, (2) unidades hidrogeológicas.</p> <p><u>Cuenca de Alhué</u>: (1) cuenca principal, (2) unidades hidrogeológicas.</p> <p><u>Cuenca de Tinguiririca</u>: (1) cuenca principal, (2) unidades hidrogeológicas.</p> <p><u>Cuenca de Nilahue</u>: (1) cuenca principal, (2) unidades hidrogeológicas y (3) el potencial agrícola de los suelos, (3) un sector acuífero en el que se pudiera obtener un caudal de 10l/s como mínimo.</p> <p><u>Cuenca de Navidad</u>: (1) criterio hidrogeológico según unidades geológicas a partir de su resistividad y (2) el potencial agrícola de los suelos.</p> <p><u>Cuenca de Litueche</u>: criterio hidrogeológico según unidades geológicas a partir de su resistividad y (2) el potencial agrícola de los suelos, (3) un sector acuífero en el que se pudiera obtener un caudal de 10l/s como mínimo.</p>

Región	Sectorización (Si - No)	Criterios Utilizados
		<p><u>Cuenca de Marchigüe:</u>(1) criterio hidrogeológico según unidades geológicas a partir de su resistividad y (2) el potencial agrícola de los suelos, (3) un sector acuífero en el que se pudiera obtener un caudal de 10l/s como mínimo.</p> <p><u>Cuenca Las Cadenas:</u>(1) un sector acuífero en el que se pudiera obtener un caudal de 10l/s como mínimo</p>
VII	Si	<p><u>Cuenca del Maule:</u> (1) Criterio hidrológico se divide en zona Norte, Centro y Sur. Por otro lado en se realiza una sectorización (1) identificando sectores que sean fuentes de abastecimiento para captaciones sobre 10 l/s. En un tercer estudio se realiza una sectorización (1) según criterios geológicos de superficie.</p> <p><u>Cuenca de Mataquito:</u> (1) Criterio hidrológico, identificando 3 sectores para las cuencas del río Teno, Lontué y Mataquito. Por otro lado en se realiza una sectorización (1) identificando sectores que sean fuentes de abastecimiento para captaciones sobre 10 l/s. En un tercer estudio se realiza una sectorización de subacuíferos utilizando un criterio (1) de relleno permeable. Mientras que un cuarto estudio ha sectorizado además considerando (1) el potencial agrícola de suelo.</p> <p><u>Cuenca de Cauquenes:</u> (1) sectorización basado en contacto roca relleno, (2) cuencas superficiales,</p> <p><u>Cuenca de Purapel:</u> (1) sectorización basado en contacto roca relleno.</p> <p><u>Estero Vaquería:</u> (1) sectorización basado en contacto roca relleno.</p> <p><u>Estero Los Puercos:</u> Se realiza una sectorización según el criterio (1) de cauces superficiales, posteriormente un caso en particular una subdivisión (2) según información de isofreáticas, y dado la similitud subterránea de 3 sectores no se dividió a pesar de ser posible su división hidrológica. En otro estudio se realizó una sectorización (1) basado en contacto roca relleno.</p> <p><u>Río Purapel:</u> Se utilizó un criterio (1) de relleno en planta y (2) de delimitación de subcuencas.</p> <p><u>Estero Belco:</u> Se utilizó un criterio (1) de relleno en planta y (2) de delimitación de subcuencas. En otro estudio además se considera (1) el potencial agrícola de suelo.</p> <p><u>Río Tutuvén:</u> Se utilizó un criterio (1) de relleno en planta y (2) de delimitación de subcuencas.</p> <p><u>Río San Juan:</u> Se utilizó un criterio (1) de relleno en planta y (2) de delimitación de subcuencas. Un segundo estudio ha considerado (1) el potencial agrícola del suelo.</p>

Región	Sectorización (Si - No)	Criterios Utilizados
		<p><u>Esteros Camarico, Taqueral y Los Coipos:</u> Se utilizó un criterio (1) de relleno en planta y (2) de delimitación de subcuencas.</p> <p><u>Cuenca Curepto:</u> (1) se realiza una sectorización según criterios hidrogeológicos y (2) de potencial agrícola de suelo.</p> <p><u>Cuenca Huenchullamí:</u> (1) se realiza una sectorización según criterios hidrogeológicos y (2) de potencial agrícola de suelo.</p> <p><u>Cuenca Chanco:</u> (1) se realiza una sectorización según criterios hidrogeológicos y (2) de potencial agrícola de suelo.</p>
VIII	Si	<p><u>Río Niquen:</u> (1) Se sectorizó en base a rellenos permeables (unidades geológicas) del sector.</p> <p><u>Río Ñuble:</u> (1) Se sectorizó en base a rellenos permeables (unidades geológicas) del sector. En un estudio previo para otro mandante se sectorizó el sector Ñuble Norte según un criterio (1) hidrogeológico y (2) combinado con el potencial agrícola del suelo. En otro estudio se considera (1) sectores de rellenos que pudiesen constituir una fuente de explotación con la obtención de 10 l/s como mínimo.</p> <p><u>Río Diguillín:</u> (1) Se sectorizó en base a rellenos permeables (unidades geológicas) del sector.</p> <p><u>Río Itata:</u> (1) Se sectorizó en base a rellenos permeables (unidades geológicas) del sector. En un estudio previo de otro mandante se (1) Se utilizó un criterio hidrogeológico y (2) combinado con el potencial agrícola del suelo. En otro estudio se considera (1) sectores de rellenos que pudiesen constituir una fuente de explotación con la obtención de 10 l/s como mínimo.</p> <p><u>Río BíoBío:</u> (1) se sectorizó en base a información geológica según el tipo de relleno permeable presente. En otro estudio se considera (1) sectores de rellenos que pudiesen constituir una fuente de explotación con la obtención de 10 l/s como mínimo.</p> <p><u>Cuenca Pocillas:</u> (1) Se utilizó un criterio hidrogeológico y (2) combinado con el potencial agrícola del suelo.</p> <p><u>Cuenca Lonquén:</u> (1) Se utilizó un criterio hidrogeológico y (2) combinado con el potencial agrícola del suelo.</p>
IX	No	No hay sectorización de acuíferos.
X-XIV	Si	<p><u>Cuenca río Bueno:</u> (1) se utiliza un criterio hidrológico por cuencas.</p> <p>En otro estudio, más reciente, se sectoriza la cuenca según identificación de sectores hidrogeológicos homogéneos (gastos específicos y coeficientes de permeabilidad).</p> <p><u>Cuenca río Valdivia:</u> (1) se utiliza un criterio hidrológico por cuencas. Un estudio plantea 2 sectores hidrogeológicos (2012).</p>

Región	Sectorización (Si - No)	Criterios Utilizados
		<p><u>Cuenca río Maullín:</u> (1) se utiliza un criterio hidrológico por cuencas.</p> <p><u>Estero Reloncaví:</u> (1) se utiliza un criterio hidrológico por cuencas.</p> <p><u>Archipiélago de Chiloé:</u> (1) se utiliza un criterio hidrológico por cuencas.</p> <p><u>Cuencas Provincia de Palena:</u> (1) se utiliza un criterio hidrológico por cuencas.</p>
XI	Si	Se identifican los sectores acuíferos de la Región, sin embargo no se señala el criterio ni se profundiza con mayor detalle. Se presenta una figura con la ubicación espacial e identificación de los principales acuíferos en la Región. Se presenta la descripción de los siguientes sectores: Levicán, Bahía Jara, Fachinal, Puerto Gaudal, El León y Puerto Tranquilo.
XII	Si	<p>Se realiza una sectorización según un criterio hidrogeológico e hidrológico. Se determinan 13 Unidades Hidrogeológicas en la zona y se trabajan independientemente, en base a las divisorias hidrogeológicas, características geomorfológicas de los sistemas acuíferos subterráneos con las características superficiales de las cuencas hidrológicas.</p> <p>Franja Oriente de la Península de Brunswick (Unidad I), Franja Poniente de la Península de Brunswick (Unidad II), Cuenca de la laguna Blanca (Unidad III), Zona Norponiente del Sector Continental (Unidad IV) Zona Nororiente del Sector Continental (Unidad V) Zona Oriente del Sector Continental (Unidad VI) Zona Sur del Sector Continental Norte (Unidad VII) Zona Poniente de Tierra del Fuego (Unidad VIII) Zona Norte de Tierra del Fuego (Unidad IX) Zona Oriente de Tierra del Fuego (Unidad X) Cuenca de los ríos Chico y Grande de Tierra del Fuego (Unidad XI) Zona de Puerto Natales (Unidad XII) Sector Norte de Última Esperanza (Unidad XIII).</p>
XIII	Si	<p><u>Cuenca del río Maipo:</u> Se realiza una sectorización en base a (1) un criterio hidrológico asociado a las principales cuencas de la Región.</p> <p>Los sectores son: Til Til, Chacabuco-Polpaico, Lampa, Colina Inferior, Colina Sur, Santiago Norte, Chicureo, Colina Superior, Las Gualtatas, Lo Barnechea, Vitacura, Santiago Central, Santiago Sur. En otro estudio se han utilizado criterios además de (1) hidrográficos, criterios (2) geológicos como es el caso de Mapocho Alto, en que se reconocen sus rellenos: Las Gualtatas,</p>

Región	Sectorización (Si - No)	Criterios Utilizados
		<p>Lo Barnechea y Vitacura. Por otro lado , en un tercer estudio se considera netamente (1) unidades hidrogeológicas distintas de las cuencas Maipo-Mapocho Superior, Maipo- Mapocho, Maipo Inferior, Tit Til –Lampa, Chacabuco – Polpaico, Colina – Batuco, Angostura, Puange, Casablanca, San Gerónimo – Del Rosario – Cartagena, Yali y Alhué. En un cuarto estudio se considera una sectorización también asociada (1) en función de sus superficies de recarga del acuífero delimitada por cauces naturales, asociada a igual zona agroclimática (2). En otro estudio se realiza una sectorización considerando además (1) las zonas de afloramiento considerando las zonas de Maipo-Mapocho, Chacabuco-Polpaico, Puangue, Codegua, y Desembocadura del río Maipo.</p> <p><u>Puangue:</u> (1) Se realiza una sectorización en función de sus superficies de recarga del acuífero delimitada por cauces naturales, asociada a igual zona agroclimática (2).</p> <p><u>Yali:</u> (1) Se realiza una sectorización en función de sus superficies de recarga del acuífero delimitada por cauces naturales, asociada a igual zona agroclimática (2). En otro estudio se utiliza un criterio (1) hidrológico asociado a subcuencas de la zona superior de este estero.</p> <p><u>Alhué:</u> (1) Se realiza una sectorización en función de sus superficies de recarga del acuífero delimitada por cauces naturales, asociada a igual zona agroclimática (2).</p>
XIV	Si	Ver información en X Región, pues se presenta conjuntamente.
XV	Si	Ver información en I Región, pues se presenta conjuntamente.

2.3 Algunas Consideraciones sobre la Experiencia Extranjera

2.3.1 Consideraciones Generales

La Directiva Marco Europea del Agua (Water Framework Directive o WFD), define acuífero como un estrato o estratos geológicos de suficiente porosidad y permeabilidad que admiten flujos importantes o extracciones significativas de agua subterránea, sin especificar lo de flujos importantes ni extracciones significativas.

Por otra parte, también se identifica y define lo que denominan cuerpo de aguas subterráneas (literalmente: body of groundwater), reconocible como unidad de aguas

subterráneas, como un volumen bien diferenciado o identificable dentro de un acuífero o acuíferos, sin especificar el modo en que esa diferenciación puede establecerse.

Puede apreciarse la ambigüedad de ambas definiciones, no obstante que a partir de ellas y de interpretaciones diferentes de su significado, se presentan varios casos en que se ha logrado aplicarlas.

Lo que sí consideran es que los *groundwater bodies* se entiendan como la unidad básica de aguas subterráneas desde el punto de su manejo técnico y administrativo.

En trabajos publicados en revistas de España, Reino Unido, Irlanda y de la Región de Flandes (partes de Francia, Bélgica y Holanda), se aplican estos conceptos, pero debido a lo amplio y difuso de sus definiciones, los casos ejemplo tienen bastante en común, pero también diferencias.

En el caso español, siguiendo las directrices del WFD, se presenta en primer lugar, un enfoque en 3 etapas para identificar acuíferos:

- i) formación porosa y permeable,
- ii) con capacidad para extraerle agua para la bebida,
- iii) con el agua subterránea conectada con cuerpos de agua superficial (ríos, lagos, lagunas, etc.) o a otros ecosistemas terrestres (vegas, bofedales, pantanos, etc.).

Teniendo definidos los acuíferos, para la delimitación de los cuerpos de agua subterránea se plantea partir por analizar la litología de las formaciones (característica granulométrica, mineralogía, geoquímica), definiendo los límites donde ésta cambia y así poder identificar sectores del acuífero de diferente calidad hidrogeológica.

A ello, se agrega:

- ver si existen afloramientos rocosos que generen naturalmente una división física entre zonas del acuífero,
- determinar si los volúmenes de agua contenidos en la napa son abundantes o escasos en cantidad y si la calidad del agua es homogénea, y por último,
- definir sectores donde se concentren en el acuífero las extracciones de agua para el consumo humano.

Se recomienda aquí no tomar en cuenta los límites de la cuenca superficial, porque no siempre corresponde a la divisoria hidrogeológica, así como tampoco las divisorias administrativas (comunas, provincias, etc.).

Como casos especiales de análisis para la definición de los cuerpos de agua subterránea se consideran:

- acuíferos estratificados (son uno solo si hay conexión y su origen es el mismo),
- acuíferos pequeños o desmembrados (se agregan a un cuerpo de agua subterránea mayor si son de características físicas semejantes y están conectados a éste),
- acuíferos en roca de baja permeabilidad (para los que se recomienda establecer amplias áreas de protección en torno a cada una de las captaciones o a grupos de éstas si son cercanas),
- superposición de acuíferos provenientes de formaciones geológicas de diferente origen (no aplica en nuestro país).

2.3.2 Documentos Consultados para Seleccionar un Caso Extranjero

Se recopiló y revisó una serie de documentos de bibliografía extranjera con el objetivo de identificar aspectos que pudiesen ser un aporte a la sectorización acuífera que se realiza en Chile.

Los documentos relevantes son los que se indica a continuación y que se presentan en el Anexo N°2.2.

- **The challenges facing delineation of integrated units of analysis within context of the groundwater resources directed measures**
S. Kisten and I. Dennis
SRK Consulting, Geoscience Department
Northwest University; Durban, KwaZulu-Natal, South Africa; 2012.
- **Groundwater Body Delineation - Defining and Reporting on Groundwater Bodies**
UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive
Working Paper Version: V6.21/ Mar/2011.
- **Groundwater Body Delineation in the Republic of Ireland**
Natalya Hunter Williams,
Groundwater Section, Geological Survey of Ireland, Irish Working Group on Groundwater, 2005.
- **Approach to delineation of groundwater bodies**
Paper by the Working Group on Groundwater of the European Community
Water Framework Directive (WFD) - River Basin District Management Systems
Guidance document No. GW2, March 2005.
- **Large-scale GIS-based hydrogeological modeling of Flanders: a tool for groundwater management**
Jan Cools, Yves Meyus, Solomon Tuccu Woldeamlak, Okke Batelaan, Florimond De Smedt
Environmental Geology, Vol. 50, 2006.

- **Proposed methodology to delineate bodies of groundwater according to the European water framework directive. Application in a pilot Mediterranean river basin (Málaga, Spain)**
Damián Sánchez*, Francisco Carrasco, Bartolomé Andreo.
Centre of Hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Málaga, Spain.
Journal of Environmental Management, Vol 90, 2009.
- **Hydrogeology of the Oreti Basin**
Report prepared for Environment Southland Christchurch, New Zealand, 2005.
- **Hidrogeología de la Cuenca del Río Caplín, Región Tacna, Perú**
Boletín N°1, Serie H, Hidrogeología.
Peña Fluquer; Cotrina Gerson; Acosta Harmuth.
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2009.

2.3.3 Ficha Caso Extranjero

A continuación se presenta la ficha para el estudio extranjero de la referencia¹. Se revisó este estudio buscando elementos que pudiesen complementar la presente metodología. Tras su revisión, se puede concluir que se presentan aspectos interesantes para el desarrollo de estudios hidrogeológicos, pero no hay elementos que no se hayan considerado en el presente trabajo. Este caso fue analizado en detalle en el punto 6.2.10, siguiendo los pasos establecidos en la metodología de sectorización acuífera propuesta.

¹ Hydrogeology of the Oreti Basin. Report prepared for Environment Southland by SKM, July 2005.

FICHA PARA DEFINIR TIPO Y NIVEL DE INFORMACIÓN DE ESTUDIO EXTRANJERO

Ficha de Descripción de Contenidos

Código DGA	-
Título y Año	Hydrogeology of the Oreti Basin, 2005.
Autor	SKM
Mandante	Environment Southland

Características físicas

Delimitación de cuencas	No
Morfología	Sí
Geología regional	No
Geología local	Sí

Hidrología

Red de drenaje (Referencia)	Sí
Precipitaciones	Sí
Otros meteorología (Referencia)	Sí, temperatura y evaporación
Escorrentía superficial	No
Calidad de aguas e Isótopos	No

Hidrogeología

Geofísica	No
Catastro de captaciones	Sí
Permeabilidades	Sí
Uso de las aguas subterráneas	No
Niveles freáticos	Sí
Cuantificación de recargas	Sólo recarga por lluvia
Balance hídrico	No
Modelación del flujo subterráneo	No
Calidad de aguas e Isótopos	Sí, iones y análisis hidroquímico

Sectorización acuífera

Sectorización	Sí
Según divisorias hidrológicas	No
Según hidrogeología	Sí
Según división administrativa	No
Vínculos entre sectores	No
Vínculo entre napa y cauces superficiales	No
Referencia a otro Estudio	Sí

Otros

<p>¿Cuál es la información relevante utilizada en la sectorización? La representación tridimensional de las unidades acuíferas ¿Se señalan aspectos que podrían mejorar la sectorización? No ¿Se incluyen otros antecedentes adicionales que puedan aportar al estudio?, ¿Cuáles? A este estudio en particular, no. Si aparecen aspectos interesantes que se mencionan al aplicar la metodología en este caso, en el punto 6.2.10.</p>

3 ANÁLISIS TÉCNICO–LEGAL DEL CONCEPTO DE “SECTOR HIDROGEOLÓGICO DE APROVECHAMIENTO COMÚN”

3.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados del análisis realizado respecto a las inconsistencias, deficiencias legales y complejidades en la aplicación que tiene el concepto de “sector hidrogeológico de aprovechamiento común”.

Como resultado del análisis, se recomienda incorporar en la normativa vigente (“Código de Aguas”, “Reglamento de Aguas Subterráneas” y “Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos”) un concepto complementario al sector hidrogeológico de aprovechamiento común, que permita eliminar las inconsistencias y facilitar la aplicación de la normativa, tanto en la constitución como en la administración de los derechos de aprovechamiento.

La propuesta señalada, que se presenta en el Anexo N°3, Propuesta de Mejoramiento de la Normativa Vigente, podrá ser estudiada por la DGA en cuanto a sus alcances, como una recomendación, para su posterior validación.

3.2 Normativa que Regula la Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas

Los instrumentos legales, citados en orden cronológico, que regulan la exploración y explotación de aguas subterráneas en el país son los siguientes:

- DFL N°1.122 de 1.981, Código de Aguas y sus modificaciones. (Última modificación del 12/11/2013, Ley 20.697).
- Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, DGA - SIT 156, de 2008.
- DS N°203 de 2.013, Reglamento Sobre Normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas.

Cabe señalar que de acuerdo a nuestro ordenamiento jurídico, corresponderá al Poder Legislativo aprobar, modificar, derogar y declarar el ámbito exclusivo, taxativo y máximo de la ley, y por otra parte, corresponderá al Presidente de la República el ejercicio de la potestad reglamentaria.

En este contexto, el Código de Aguas (DFL 1.122 de 1981), corresponde a un acto normativo del Presidente de la República sobre asuntos fuera del dominio legal, realizado en virtud de una delegación hecha por el Poder Legislativo, mediante una ley específica (DL 3.549 de 1981) que autoriza y delega en el presidente, por un plazo determinado, la dictación de disposiciones con fuerza de ley, en las materias que señala expresamente.

Por su parte, el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos de la DGA y las resoluciones DGA que establecían las normas de exploración y explotación de aguas subterráneas, anteriores al DS N°203 de 2013 (Res. 207 de 1983, Res. 186 de 1996, Res. 341 de 2005 y Res. 425 de 2007), corresponden a Actos de Orden Interno emanados de la DGA, que desde el punto de vista jurídico corresponden a expresiones de la jerarquía administrativa, es decir, como una prescripción que el jefe de servicio da a los funcionarios sujetos a su autoridad en lo que concierne a la administración

y aplicación de las leyes y reglamentos, siendo por tanto una manifestación de la potestad jerárquica, y no de la potestad reglamentaria.

En ese contexto, mediante dichos documentos no se puede regular materias propias de ley o de reglamento, ya que al hacerlo, se quebranta el marco regulatorio.

El DS N°203 de 2013, que reemplaza a la Res. DGA N°425 de 2007, en cuanto a establecer las normas de exploración y explotación de aguas subterráneas, corrige la situación señalada en el párrafo precedente, pues corresponde a una expresión de la potestad reglamentaria del Presidente de la República.

3.3 El concepto de Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común

El concepto de "Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común" aparece citado por primera vez en el Código de Aguas de 1981, específicamente cuando define los sectores de restricción² (Artículo 65). No hay más mención del concepto en este instrumento legal.

En el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, el "Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común" aparece citado veinticuatro (24) veces.

Respecto a la resolución DGA que fijó las Normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas y sus modificaciones posteriores, se puede señalar que en la Res. DGA N°207 de 1983, no aparece citado el concepto de Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común, tampoco en la Res. DGA N°186 de 1996, que dejó sin efecto la anterior y estableció nuevo texto de resolución que dispuso las citadas normas. En la Res. DGA N°341 de 2005, que análogamente dejó sin efecto la anterior y estableció nuevo texto de resolución que dispuso las citadas normas, aparece el concepto en 3 artículos (Art. 24, Art. 31 y Art.37). Al igual que las anteriores, dicha resolución, también quedó sin efecto, como consecuencia de la entrada en vigencia de una nueva resolución sobre el particular, en este caso la Res. DGA N°425 de 2007, en ésta, el concepto de Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común aparece citado en los mismos tres artículos que en la versión anterior de las citadas normas.

En el Decreto Supremo 203 de 2013, "Reglamento de Aguas Subterráneas", el "Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común" aparece citado veintiocho (28) veces.

A pesar de aparecer citado en todos los documentos señalados, desde 1981 a la fecha, la definición del concepto sólo se hizo explícita en el DS N°203 de 2013, donde en el Art. 54,

²Art. 65. Serán áreas de restricción aquellos sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en los que exista el riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él.

Cuando los antecedentes sobre la explotación del acuífero demuestren la conveniencia de declarar área de restricción de conformidad con lo dispuesto en el inciso anterior, la Dirección General de Aguas deberá así decretarlo. Esta medida también podrá ser declarada a petición de cualquier usuario del respectivo sector, si concurren las circunstancias que lo ameriten.

Será aplicable al área de restricción lo dispuesto en el artículo precedente.

La declaración de un área de restricción dará origen a una comunidad de aguas formada por todos los usuarios de aguas subterráneas comprendidas en ella.

letra g), se establece: "Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común: Acuífero o parte de un acuífero cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión en forma independiente."

3.4 Inconsistencias, Deficiencias Legales y Complejidad en la Aplicación del concepto de Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común

Se ha realizado un análisis del marco legal vigente y del uso actual en la administración de los recursos hídricos de sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, para identificar inconsistencias, deficiencias legales y complejidades en su aplicación, lo que permitirá proponer una interpretación técnica y legal del concepto, que sea compatible con los aspectos técnicos, legales y administrativos relacionados con la administración de los recursos hídricos y con la metodología que se propone.

Al revisar en los documentos citados, las veces que aparece citado el "Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común" y las implicancias técnicas que se derivan de la aplicación de los textos, se ha determinado que existen las siguientes situaciones que corresponde corregir.

Inconsistencias: Ya que podría demostrarse técnicamente que los límites de un determinado sector hidrogeológico de aprovechamiento común, utilizados como argumento, por ejemplo, para constituir o denegar una solicitud de derecho de aprovechamiento, no son tales, o al menos son cuestionables, por existir vínculos con uno o más sectores vecinos, lo que evidenciaría la falta de independencia hidrogeológica que se impone en la definición.

Una situación análoga podría generarse en el caso de utilizar una sectorización imprecisa para efectos de aprobar o denegar solicitudes de cambio de punto de captación.

Deficiencias legales: Del análisis realizado se desprenden varias deficiencias legales que se han ido rectificando, pero hay algunas que aún persisten. Así por ejemplo, en el Código de Aguas se menciona el Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común, pero no se define explícitamente qué se entiende por ello, lo que al menos es un potencial punto de conflicto al quedar sujeto a la interpretación.

Situación similar se produjo en las sucesivas Resoluciones DGA que establecieron las normas de exploración y explotación de aguas subterráneas entre 1983 y 2007, donde tampoco se definió explícitamente el concepto. Cabe señalar que aunque se hubiese incluido tal definición, por tratarse dichos documentos de Acciones de Ordenamiento Interno de la DGA, jurídicamente no habrían tenido facultades de ley o de reglamento.

Esto se solucionó con la entrada en vigencia del DS N°203 de 2013, que definió explícitamente el concepto. Sin embargo, dado que por la naturaleza de los sistemas acuíferos, rara vez ocurre que exista la independencia entre sectores hidrogeológicos vecinos, el concepto definido resulta insuficiente para que la gestión administrativa sea compatible con la definición técnica, lo que ciertamente representa otra deficiencia legal.

Complejidades en la Aplicación del Concepto: La administración de los recursos hídricos por parte de la DGA es un proceso complejo, por lo que las herramientas de que dispone el servicio deben facilitarle dicha función y no hacerla más compleja. El concepto de Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común resultaría de gran utilidad tanto para delimitar áreas de restricción o prohibición así como para la autorización o denegación de solicitudes de cambio de punto de captación. Sin embargo, el hecho que se produzca una incompatibilidad entre la definición técnica y la gestión administrativa del concepto, representa una complejidad dado que podría generar disputas legales con usuarios que estimasen vulnerados sus derechos frente a la aplicación del concepto.

Frente a esto, y con el fin de corregir estos flancos de potenciales conflictos legales, es que se hace evidente la necesidad y conveniencia de incorporar un concepto complementario, el "Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Compartido", que correspondería a *un acuífero o parte de un acuífero cuyas características hidrológicas espaciales y temporales son tales que pese a su delimitación física, desde el punto de vista hidrogeológico, mantiene vínculos o dependencia con sectores hidrogeológicos aledaños, lo que significa tener que tratarlo, tanto técnica como administrativamente, como un sistema dependiente de otros.*

La incorporación del concepto señalado permitiría que la DGA realice las gestiones administrativas que le son propias (tramitación de solicitudes de: exploración de aguas subterráneas, de constitución de derechos de aprovechamiento, de cambios de punto de captación de aguas subterráneas, entre otras), sin entrar en conflicto con las definiciones desde el punto de vista técnico de los sectores hidrogeológicos, tanto de aprovechamiento común, como de aprovechamiento compartido, lo que le daría coherencia al proceso y representaría un aporte concreto en los casos de áreas con y sin restricción y para el caso de constitución y cambios de punto de captación de derechos.

Como resultado del análisis, se propone incorporar en la normativa vigente ("Código de Aguas", "Reglamento de Aguas Subterráneas" y "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos") el concepto de sector hidrogeológico de aprovechamiento compartido, que permitirá eliminar las inconsistencias y facilitar la aplicación de la normativa, tanto en la constitución como en la administración de los derechos de aprovechamiento.

La propuesta señalada, que se presenta en el Anexo N°3, Propuesta de Mejoramiento de la Normativa Vigente, podrá ser estudiada por la DGA en cuanto a sus alcances, como una recomendación, para su posterior validación.

4 ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE INFORMACIÓN RELEVANTE

En este capítulo se presentan los antecedentes relativos a las sectorizaciones de acuíferos que se han realizado a la fecha en nuestro país, detallando los procedimientos aplicados y las justificaciones en cada caso.

La información generada se ha obtenido de la revisión de los antecedentes recopilados y se presenta en forma sintetizada, indicando los procedimientos aplicados en el proceso de

sectorización y señalando, a criterio de este consultor, cuáles son sus fortalezas y debilidades, posibles mejoras, necesidades de información y aplicabilidad a otros acuíferos.

4.1 Criterios de Sectorización

En términos generales, la sectorización acuífera realizada hasta la fecha se basa en los siguientes criterios:

- Existencia de subcuencas hidrológicas, ya sea como confluencia de ríos, generalmente cordilleranos, que dan origen a un río mayor, o como cuencas laterales de cursos secundarios que descargan sus recursos a un cauce principal.
- Existencia de rellenos con diferente permeabilidad (alta / media / baja). Se han identificado límites entre sectores acuíferos coincidentes con los límites de zonas de diferente permeabilidad.
- Existencia de barreras hidrogeológicas, evidenciadas por el afloramiento de aguas subterráneas en el lecho de cursos de agua, en coincidencia con zonas de angosturas de los valles. En algunos casos puntuales, se observa el afloramiento de roca en dichos cauces.

4.2 Sectorización Mediante Cuencas Hidrológicas

4.2.1 Calidad de la Información Geográfica

La primera delimitación acuífera se realiza considerando las cuencas hidrológicas definidas por la DGA, es decir, un criterio que se basa en información hidrológico-geográfica. En segundo término aparecen consideraciones hidrogeológicas.

La elección de este primer criterio aparece como natural, puesto que la mayor parte de las captaciones relevantes (en términos de caudales extraídos) de aguas subterráneas se han construido en los depósitos no consolidados que rellenan el fondo de los valles, es decir, las cuencas hidrológicas en general incluyen completamente estas unidades acuíferas.

Este primer paso en la definición de sectores acuíferos depende de la calidad de la información cartográfica disponible.

Se dispone actualmente de información cartográfica actualizada y de calidad suficiente para todo el territorio nacional, ya sea a través de la cartografía del IGM o de la topografía satelital SRTM.

Sin embargo, este criterio presenta una debilidad en lo que respecta a la delimitación precisa de las cuencas hidrológicas definidas por el Banco Nacional de Aguas. En efecto, en el informe "Análisis Crítico de la Definición de Cuencas del Banco Nacional de Aguas" (SDT

Nº341, 2013) se considera que la definición de las cuencas adolece de defectos en la determinación de límites debido a la menor precisión de la cartografía utilizada en la época en que esas cuencas fueron definidas (1978), en comparación con la disponible en la actualidad. A pesar de ello se recomienda en ese informe no realizar modificaciones a los límites oficiales de las cuencas, debido a las consecuencias que ello podría implicar, por ejemplo, la redenominación de una serie de elementos existentes en el BNA (códigos BNA de estaciones meteorológicas, fluviométricas, etc.) y la revisión de derechos de agua ya constituidos, que podrían corresponder a cuencas distintas de las consideradas al constituirse los derechos.

No obstante, la DGA está estudiando y redefiniendo la delimitación de cuencas subcuencas y subsubcuencas, para uso interno del DARH (licitación 1019-39-LP14), con lo cual se espera contar con una mejora sustantiva en esta definición. En segundo término, se puede mencionar que, si bien es cierto existe una delimitación que puede ser imprecisa, cada vez que se hace una nueva delimitación de un sector hidrogeológico de aprovechamiento común se utiliza ArcGIS, de forma independiente a la actual delimitación de cuencas.

En consecuencia, la aplicación de la metodología propuesta podría implicar la necesidad de la revisión y actualización de las cuencas del BNA, con las implicancias que de ello se derivaren.

4.2.2 Acuíferos en Roca

En general, los sectores acuíferos adoptados hasta la fecha por la DGA corresponden a cuencas o subcuencas hidrológicas, incluyendo en esas áreas tanto zonas de rellenos sedimentarios como de sectores unidades de roca, que se diferencian por la pendiente del terreno, como se mencionó anteriormente.

La creciente demanda de agua subterránea ha llevado a considerar los sectores de roca como fuentes de agua, lo que plantea la necesidad de estudiarlas aparte de las zonas contiguas de rellenos sedimentarios. De hecho, cada vez es más frecuente que los usuarios busquen abastecerse de aguas subterráneas presentes en unidades de roca con estructuras (fracturas en las rocas: fallas, diaclasas) susceptibles de almacenar y conducir estos recursos hídricos. Los así llamados "acuíferos en roca" deben ser abordados con un enfoque distinto al tradicional, debido a la diferente distribución espacial de los flujos subterráneos.

En efecto, mientras en las unidades de rellenos el flujo subterráneo cubre toda el área en forma relativamente homogénea, en las unidades de roca se concentran en algunos sectores de escurrimiento preferencial. Lo anterior plantea una complejidad adicional al estudio de estas fuentes de agua.

Este criterio de delimitación de sectores acuíferos presenta una debilidad al considerar los acuíferos en roca, puesto que los escurrimientos de aguas subterráneas a través de las fracturas en roca podrían llevar recursos hídricos de una cuenca hidrológica a otra contigua,

ya que el sentido de flujo no está determinado por la pendiente de la superficie del terreno, sino de las fracturas que los transmiten.

La experiencia hasta la fecha sobre este tema señala que no hay un procedimiento sistemático para la delimitación de acuíferos en roca. Los únicos esfuerzos en este sentido se han concentrado en la cuenca asociada al Mapocho Alto, donde ha sido necesario tenerlo en cuenta para la DGA, a causa de la alta demanda por agua subterránea.

4.3 Sectorización de Acuíferos por Contraste de Valores de Parámetros Elásticos

Los depósitos no consolidados que rellenan los fondos de los valles, que representan los acuíferos más importantes en términos de capacidad de almacenamiento y de explotación sustentable, tienen orígenes diversos, los que condicionan los valores de los parámetros elásticos que presentan.

Así por ejemplo, rellenos de origen fluvial en general poseerán valores altos de la permeabilidad, frente a otros rellenos formados por procesos geológicos de menor energía, como por ejemplo los rellenos aluviales o coluviales. De esta manera, en una misma cuenca hidrológica pueden coexistir varias unidades acuíferas, diferenciables entre sí y que debieran ser consideradas como distintos sectores acuíferos.

Una limitación de este método consiste en la heterogeneidad de la información hidrogeológica disponible. Ya que mientras la información cartográfica o topográfica necesaria para definir cuencas cubre homogéneamente un sector acuífero, no ocurre lo mismo con la distribución de captaciones de aguas subterráneas, de las que se obtiene información para caracterizar el acuífero. En general, las captaciones no se construyen con fines de exploración de amplia escala, sino para suplir las necesidades de agua de usuarios de aguas subterráneas,

Esta diferente cantidad de antecedentes hidrogeológicos se puede evidenciar, por ejemplo, en los ríos Petorca y La Ligua. Estos cursos de agua han sido habitualmente estudiados en conjunto; sin embargo, no existe el mismo grado de conocimiento hidrogeológico de ambos, dado que existen muchas más captaciones en la cuenca del río La Ligua que en la del Petorca.

Del mismo modo, no existe un procedimiento único para la construcción de captaciones que permita obtener información estandarizada y plenamente comparable. En general, en los estudios hidrogeológicos se consideran todos los antecedentes que se obtienen desde los informes de construcción de las captaciones (estratigrafía, pruebas de bombeo), independientemente del método de trabajo empleado, asumiendo que existe un grado aceptable de homogeneidad de la calidad de la información.

Esta heterogeneidad de la información es relevante como dificultad en el proceso de definición de límites entre unidades hidrogeológicas contiguas, diferenciables entre sí según

los valores de las constantes elásticas (unidades de permeabilidad alta, media o baja) que ocupen sectores de igual pendiente (rellenos sedimentarios) y en ausencia de barreras físicas (estrechamiento de valles). En efecto, información estratigráfica y pruebas de bombeo de diversa calidad pueden causar delimitaciones imprecisas de sectores acuíferos.

4.4 Sectorización Mediante Barreras Hidrogeológicas

Se ha constatado que algunas de las primeras sectorizaciones acuíferas se realizaron mediante la observación de afloramientos de aguas subterráneas en lechos de ríos.

Este criterio de delimitación tiene sentido físico, ya que estos afloramientos de aguas subterráneas obedecen en general a una menor profundidad del basamento rocoso que subyace al acuífero. De este modo se pueden modelar los rellenos sedimentarios como una serie de "embalses subterráneos" en serie, o hacer una analogía con las secciones legales de algunos ríos, definidas para la administración de las aguas superficiales.

Debe tenerse en cuenta que este tipo de sectorización puede inducir erróneamente a considerar que los sectores acuíferos así definidos son independientes entre sí, puesto que el concepto de "barrera hidrogeológica" no es una singularidad que separe en forma absoluta los sectores acuíferos que concurren a ella. De hecho, la DGA siempre lo ha entendido así, lo cual se verifica en forma simple al revisar en los modelos desarrollados que a través de esas barreras siempre existe un flujo entre sectores limitados por ella.

Una debilidad de este criterio está determinada en el grado de la calidad de la información disponible respecto de la ubicación del punto de menor profundidad del basamento rocoso, el cual debería constituir el límite entre sectores contiguos.

En ocasiones se han determinado estos límites por simple inspección y en condiciones excepcionales. Por ejemplo, el informe técnico que dio origen a la sectorización acuífera del río Copiapó, realizado en 1995, definió los límites en función de los resultados de un reconocimiento de terreno, observando la morfología del terreno (angostamientos del valle) y fundamentalmente la existencia de zonas de afloramiento de aguas subterráneas en un período de excepcional abundancia de recursos hídricos.

Una delimitación precisa requiere de antecedentes más completos, que son proporcionados por prospecciones directas y/o geofísicas, que permitan determinar el perfil del contacto roca/relleno a lo largo del curso de ríos y esteros.

Las captaciones de aguas subterráneas ubicadas en las proximidades de límites imprecisos son susceptibles de ser perjudicadas en sus derechos de aprovechamiento, puesto que se les puede evaluar en función de una realidad diferente a la que les corresponde.

4.5 Concentración de Captaciones de Aguas Subterráneas

En ocasiones las captaciones de aguas subterráneas se concentran en sectores específicos de acuerdo a la demanda de agua tanto en centros urbanos como en zonas específicas de actividad económica tales como la minería y la agricultura, que no tienen relación directa con las características de las unidades hidrogeológicas. En este sentido la DGA evita definir sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común a partir del criterio de concentración de captaciones o de extracciones.

Esta explotación intensa de aguas subterráneas debiera, en opinión de este Consultor, definir automáticamente un sector acuífero de aprovechamiento común, así como el estudio y vigilancia de sus características fundamentales, tales como la evolución de la profundidad del nivel freático y de la calidad de esas aguas. Con ello, se facilita la definición de áreas de restricción.

4.6 Ventajas y Desventajas de los Criterios Utilizados

A continuación, en la Tabla 4.6-1 se sintetizan las ventajas y desventajas de cada uno de los criterios habitualmente utilizados para sectorizar acuíferos.

Tabla 4.6-1. Ventajas y Desventajas de Criterios Utilizados para Sectorizar Acuíferos

CRITERIO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Información Geográfica	- Rápido	- Poco preciso
	- Directo	- No considera acuíferos en roca
Valores de parámetros elásticos	- Relevante para sectorización correcta	- Información estratigráfica no estandarizada
	- Pruebas de bombeo estandarizadas	- Heterogeneidad del medio no incluida
Barreras hidrogeológicas	- Delimita bien físicamente	- Se mantiene un vínculo por el flujo subterráneo entre sectores
	- Se exige ahora geofísica, que es muy útil	- En muchos casos no es precisa por no conocer bien la sección que separa
Concentración de captaciones	- No es un criterio físico	- No se usa. Debería usarse para definir sectores
	- Es útil para definir áreas de restricción	- Puede no tener relación directa con las características de los sectores hidrogeológicos

5 FOCUS GROUP

Como parte de las actividades contempladas en el estudio, se realizó un *Focus Group* para analizar el concepto de "Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común" y su aplicación en la administración y gestión de los recursos hídricos en el país. En esta actividad, que se realizó el 30 de Julio de 2014 en el 8º piso del edificio del MOP, participaron profesionales de la Dirección General de Aguas (DEP, DARH, División Legal y Organizaciones de Usuarios), seis profesionales expertos en recursos hídricos (que se individualizan más adelante), los que fueron especialmente invitados a participar de esta actividad y profesionales del equipo consultor.

En la Tabla 5-1 se individualiza a los asistentes al Focus Group.

Tabla 5-1. Asistentes al Focus Group

Nombre	Institución
DGA	
Adrián Lillo	DGA – DEP
Andrea Osses	DGA – DEP
Michael Finger	DGA – DEP
Juan Atán	DGA – DEP
Luis Moreno	DGA – DARH
Marco Larenas	DGA – DARH
Nury Salazar	DGA – DARH
Carlos Flores	DGA – DARH
Rosa Sánchez	DGA – División Legal
Ernesto Schulbach	DGA – Organizaciones de Usuarios
Profesionales Expertos	
Damaris Orphanópoulos	Rodhos Ltda.
Gonzalo Arévalo	Vergara y Cía.
Fernando Peralta	Confederación de Canalistas de Chile
Carlos Salazar	Hydro21 Ltda.
Carlos Espinoza	Hidromas
Félix Pérez	Knight Piesold
Consultores	
Guillermo Cabrera	GCF Ingenieros Ltda.
Lem Mimica	GCF Ingenieros Ltda.
Sergio Matus	GCF Ingenieros Ltda.

En el Anexo N°3 se incluye la minuta de los temas tratados en el Focus Group y adicionalmente, a continuación se presenta un resumen de dichos temas.

- La DGA debe administrar los recursos hídricos de las cuencas del país y gestionar los derechos de aprovechamiento de aguas, para ello se le ha otorgado la potestad legal de delimitar las cuencas y acuíferos y sectorizarlos en la medida de las necesidades, para una mejor administración.
- Uno de los objetivos del estudio es definir una metodología de carácter científico, técnico y de aplicación institucional para delimitar acuíferos y sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común.
- La metodología que se proponga, debiera ser prioritariamente para uso institucional de la DGA, en su función de delimitar y sectorizar acuíferos, aunque tenga carácter público y posteriormente sea incorporada al Manual de Normas y Procedimientos.
- Dicha metodología deberá considerar aspectos tales como:
 - El nivel de información disponible en cada cuenca o sector específico.
 - La relación entre aguas superficiales y subterráneas.
 - El nivel de explotación del acuífero.
 - Los límites naturales existentes, constituidos por los sectores de afloramientos.
 - Las necesidades de sectorización para gestión de derechos de aprovechamiento (cambios de puntos de captación, definición de áreas de restricción, etc.).
 - La flexibilidad necesaria para redefinir sectorizaciones si es necesario, al modificarse por ejemplo el nivel de información en un determinado sector.
 - Todos los aspectos técnicos que puedan aportar, no solo la visión de la ingeniería, sino también la de la geología y otras áreas.
- La sectorización de acuíferos estratificados, es un tema que debe ser considerado para plantear alternativas de manejo.
- Las comunidades de aguas subterráneas que se deben formar a partir de las sectorizaciones, también es un tema a considerar. En la actualidad hay muy pocas de ellas funcionando y eventuales cambios en las sectorizaciones vigentes generarán un problema que debe ser abordado oportunamente.
- El problema global a resolver no es simple y una vez definida la metodología, debiera abordarse considerando un análisis caso a caso,

- y tratando de ir de lo simple a lo complejo, sin generar más sectorizaciones de las estrictamente necesarias.
- Para la definición de la metodología, se sugiere utilizar las herramientas existentes, debidamente validadas, y el conocimiento adquirido, para evitar cometer errores del pasado y no tener la necesidad de reeducar a los potenciales usuarios de ella.

 - Finalmente, se debiera utilizar las convenciones internacionales vigentes, para efectos de generar información cartográfica estandarizada (simbología de colores para geología e hidrogeología) y también se sugiere aprovechar la experiencia internacional respecto a la definición y manejo de sistemas acuíferos, que ha funcionado adecuadamente, por ejemplo en España.

6 DEFINICIÓN DE CRITERIOS Y PROPUESTA METODOLÓGICA PARA SECTORIZACIÓN DE ACUÍFEROS

6.1 Definición de Criterios

Previo al desarrollo de la metodología para la sectorización de acuíferos, es necesario establecer algunos criterios que definan los tipos de sistemas acuíferos a ser sectorizados y el alcance que deberá tener la sectorización según el tipo de acuífero de que se trate.

Primero, debe tomarse en cuenta la definición de sector hidrogeológico de aprovechamiento común, que según se especifica en el Decreto 203 de 2014 corresponde a un acuífero o a una parte de éste, cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión, en forma independiente.

A raíz de ello, surge una similitud con la sectorización según "**secciones**" de los ríos, que se usa para los recursos hídricos superficiales, las que corresponden a tramos de cauces y sus áreas de aporte superficial. La división en secciones permite plantear balances para el otorgamiento de derechos.

El esquema descrito para las aguas superficiales no es posible replicarlo con las aguas subterráneas. Algunas de las razones son la tridimensionalidad de los medios subterráneos, la relación del flujo subterráneo con la escorrentía superficial y la propagación espacial de efectos en los medios permeables.

Los aspectos mencionados limitan la aplicabilidad práctica de catalogar una zona subterránea como "*sector hidrogeológico de aprovechamiento común*". Es evidente que administrativamente es ideal gestionar sistemas independientes, sin embargo los medios subterráneos pocas veces cuentan con ese atributo.

Para el presente trabajo, partiendo de la definición de este concepto de sector hidrogeológico, se deberá agregar algunos elementos complementarios que permitan compatibilizar dicho concepto con la metodología de sectorización acuífera.

La independencia de un medio subterráneo se puede asegurar en gran medida si se amplía lo suficiente su delimitación. Es decir, si se analiza un acuífero en particular, siempre se podrá insertar ese acuífero en un área (o volumen) mayor, que sea posible considerar como una unidad, en términos prácticos, independiente.

Esa zona preservará la distinción de "*sector hidrogeológico de aprovechamiento común*". No obstante, dentro de ese sector existirán subsectores que podrían denominarse "*subsectores o sectores hidrogeológicos de aprovechamiento compartido*". Entre esos subsectores, existen vínculos hidráulicos que dependen de las propiedades físicas de los medios, las condiciones de recarga y la explotación del agua subterránea, entre otros factores.

Para la delimitación de los subsectores mencionados, no bastará con considerar exclusivamente sus características hidrogeológicas (propiedades físicas, geometría, etc.), sino que deberá agregarse el uso que se le está dando a esas aguas subterráneas y su grado de explotación, su calidad físico química y, además, su relación con medios acuáticos superficiales (ríos, lagos, lagunas, océano) y con ecosistemas alimentados por esas aguas.

Más aún, hay casos en que se presentan acuíferos estratificados cuyo comportamiento es muy distinto cuando, por ejemplo, el acuífero superior se encuentra conectado con un cauce superficial, mientras que el inferior no lo está, por lo que como fuentes de agua subterránea no debieran considerarse como uno solo. Por el contrario, si esos mismos acuíferos abastecen pozos que captan de ambos al mismo tiempo, existirá un vínculo entre ellos, lo cual hará necesario considerarlos como uno.

De acuerdo con lo anterior, la sectorización de acuíferos debería plantearse en dos fases, en que en la primera se identifiquen acuíferos de acuerdo con criterios exclusivamente hidrogeológicos, y en la segunda se dividan, si es el caso, en sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, para lo cual se agregan otros elementos, como son los señalados en los párrafos precedentes.

6.2 Propuesta Metodológica para Sectorizar Acuíferos

En el presente capítulo se describe la metodología desarrollada para la sectorización de acuíferos.

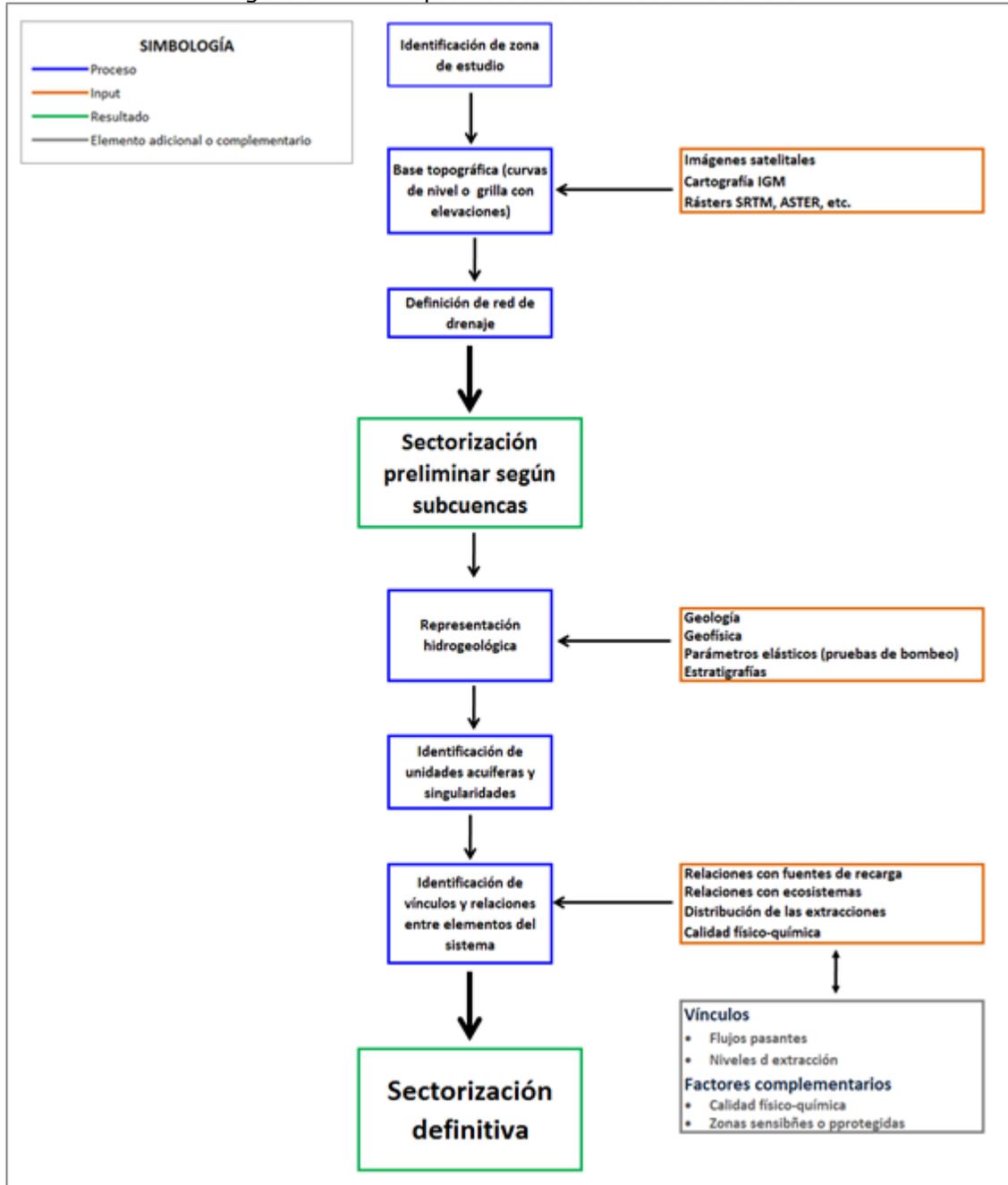
Como premisa principal de ella se tiene que en su desarrollo debe seguirse una serie de pasos correlativos en que cada uno de ellos tiene un producto como resultado que, en caso de no existir más información para seguir al siguiente paso, corresponderá a la sectorización del acuífero.

En términos globales, el producto al final de cada paso, consiste básicamente en una figura o plano, elaborado con ArcGIS, AutoCad u otro programa. Dicha lámina, en cada etapa del proceso, se va sofisticando, ya que va incorporando coberturas (shapes) o planos (AutoCad), que incluyen la información requerida para materializar cada paso de la metodología. Dependiendo de la densidad gráfica de la información, es posible que sea necesario omitir algunas coberturas de pasos anteriores en las figuras o planos asociados a pasos posteriores. Además de las figuras o planos, en cada etapa se deben agregar los respaldos digitales de las mismas, es decir los archivos asociados a los shapes (*.sbn, *.sbx, *.dbf, *.shp, *.shx, etc.) o los planos AutoCad (*.dwg). Al final de la metodología se presenta un cuadro con los productos entregables asociados a cada paso.

La metodología se ha formalizado suponiendo que se cuenta con un mínimo de información base para el área que se pretende sectorizar. Los antecedentes mínimos mencionados se encuentran disponibles en internet y son fácilmente descargables por cualquier usuario. Obviamente, si se cuenta con información específica o de detalle del área de interés, los pasos expuestos son análogos, sólo cambia la calidad de la información base. Los pasos detallados en la metodología requieren el manejo computacional de información geográfica, por lo que se asume que el usuario de esta metodología está familiarizado con programas para el manejo de información geográfica, tal como ArcGIS.

El método consiste en una serie de pasos correlativos que se detallan a continuación. En la Figura 6.2-1 se muestra un diagrama de flujo que resume los principales pasos y elementos descritos en los siguientes puntos.

Figura 6.2-1. Esquema de sectorización acuífera



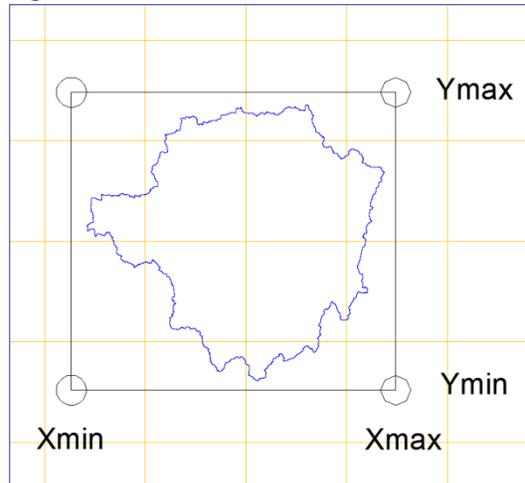
6.2.1 Identificación de Zona de Estudio

El primer paso consiste en identificar el área de estudio. Ésta puede estar contenida en un rectángulo definido por coordenadas UTM.

En el último tiempo, la DGA ha procurado uniformar las referencias geográficas, usando el Datum WGS84, por ello, se debe identificar la zona de interés por medio de un polígono.

Este puede ser un rectángulo u otra figura geométrica, definida por las coordenadas de sus vértices; no obstante, cualquier figura geométrica que se elija, tendrá un rectángulo envolvente que podrá usarse para definir de forma sencilla el dominio que se pretende abarcar. Según ese esquema, se deben identificar al menos las 4 coordenadas UTM de los vértices que lo definen, según Datum WGS84 (ver Figura 6.2-2).

Figura 6.2-2. Límites de zona de interés



6.2.2 Base Topográfica

Se debe disponer de una base topográfica para el área de interés. Los antecedentes topográficos con los que se cuente, pueden ser curvas de nivel del IGM³, levantamientos topográficos de detalle, topografía satelital, etc.

Si no se dispone de una base topográfica específica, es posible contar con la topografía satelital SRTM⁴ o ASTER⁵; descargables gratuitamente de los sitios de las referencias 4 y 5.

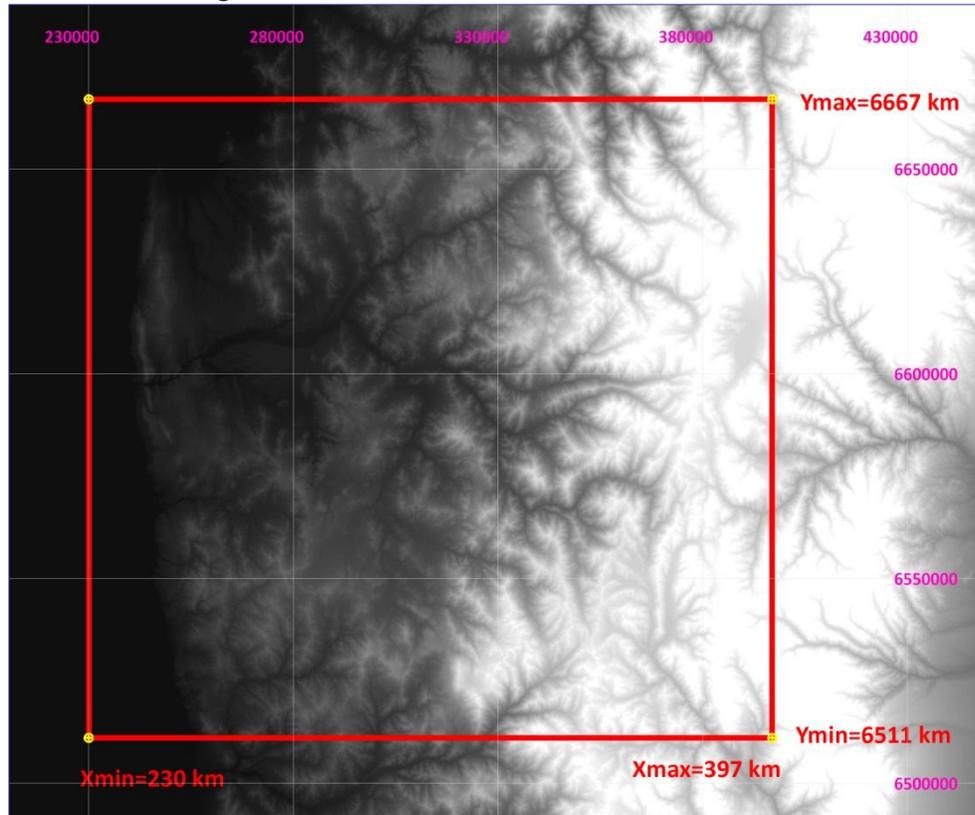
Alternativamente, aunque con menor precisión, se podría generar una base topográfica aproximada a partir de la información de cotas de Google Earth.

³ Instituto Geográfico Militar

⁴ Shuttle Radar Topography Mission. (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>)

⁵ La grilla ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) corresponde a un reticulado de 29.11-29.11 m, con un datos de elevación en cada centro de celda. Se puede descargar en: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>

Figura 6.2-3. Ráster SRTM de zona de interés



El producto en el paso del desarrollo de la base cartográfica o topográfica es la construcción de un plano de planta, en el cual la sectorización acuífera debería abarcar al menos las zonas planas, valles y rellenos contenidos en la cuenca o zona de estudio.

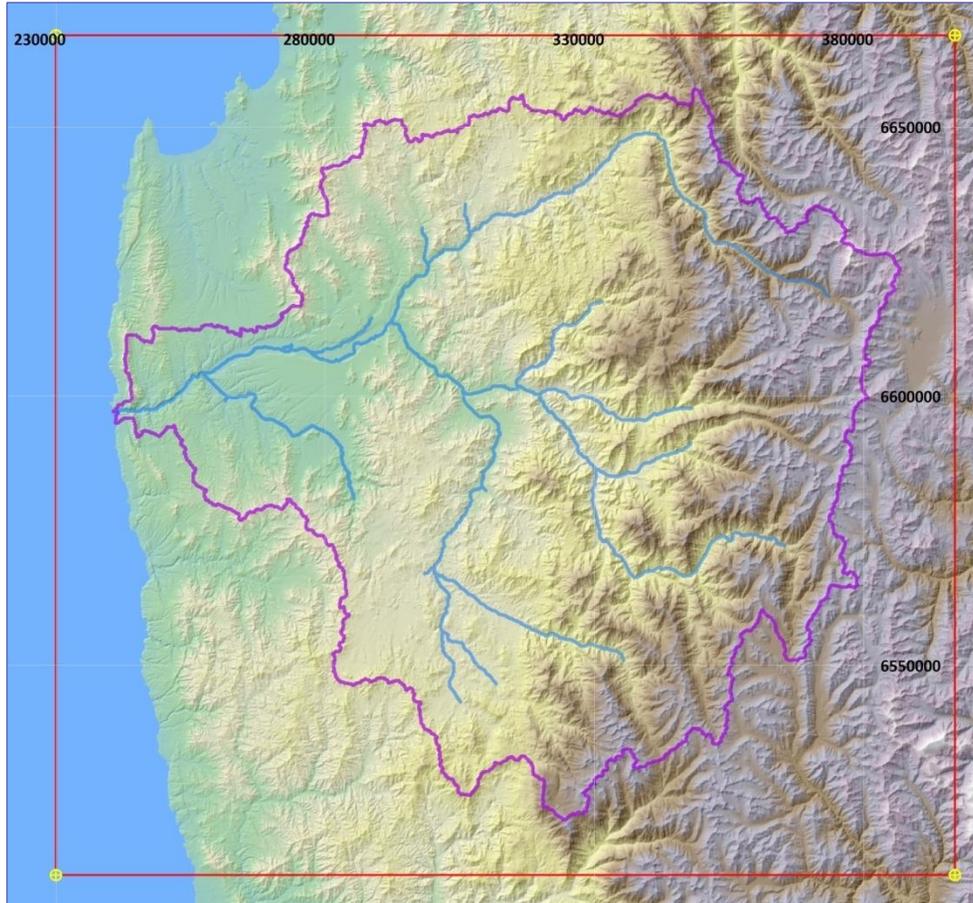
6.2.3 Red de Drenaje

Con la base topográfica del ráster SRTM, ASTER u otra, es posible trazar la red de drenaje superficial. La definición de la red de drenaje obtenida de la base topográfica, puede sustituirse, afinarse o mejorarse con la disponible en la cartografía IGM, con levantamientos topográficos de detalle para zonas más relevantes, usando imágenes satelitales de mayor resolución, entre otras fuentes de información geográfica y morfológica.

El trazado de la red de drenaje se puede efectuar con el programa ArcGIS u otro específico para este tipo proceso. Existen videos tutoriales en Internet⁶ que explican paso a paso cómo realizar este proceso con ArcGIS. En la Figura 6.2-4 se muestra la red de drenaje trazada con el programa WMS versión 7.1 para un caso ejemplo cualquiera.

⁶<http://www.youtube.com/>

Figura 6.2-4. Red de drenaje superficial



A partir de la definición de la red de drenaje, se tendrá un producto que corresponde al trazado de ésta sobre la base cartográfica o topográfica, con lo cual se dispondrá de un elemento adicional a la topografía para generar una sectorización, que alcanzado este nivel, corresponderá a la sectorización acuífera preliminar.

6.2.4 Sectorización Preliminar

Como se ha señalado, con la topografía y la red de drenaje, definidas, se realizará la primera sectorización, en este caso según subcuencas de drenaje superficial. Esta sectorización servirá de base para trazar la sectorización acuífera definitiva, en caso de existir mayores antecedentes, específicamente hidrogeológicos, que lo permitan. La división del área de interés en subcuencas permite desagregar los flujos e individualizar aportes superficiales, los que generalmente están relacionados con los flujos subterráneos que escurren en paralelo.

El área estudiada, sectorizada preliminarmente, dividida según criterios de hidrología superficial, constituye una base para la sectorización acuífera de mayor detalle, donde se incorporarán los criterios hidrogeológicos.

La sectorización preliminar se realiza según la red de drenaje generada con la base topográfica y con la base topográfica misma. Ésta se puede trazar manualmente o con algún programa (como WMS o ArcGIS).

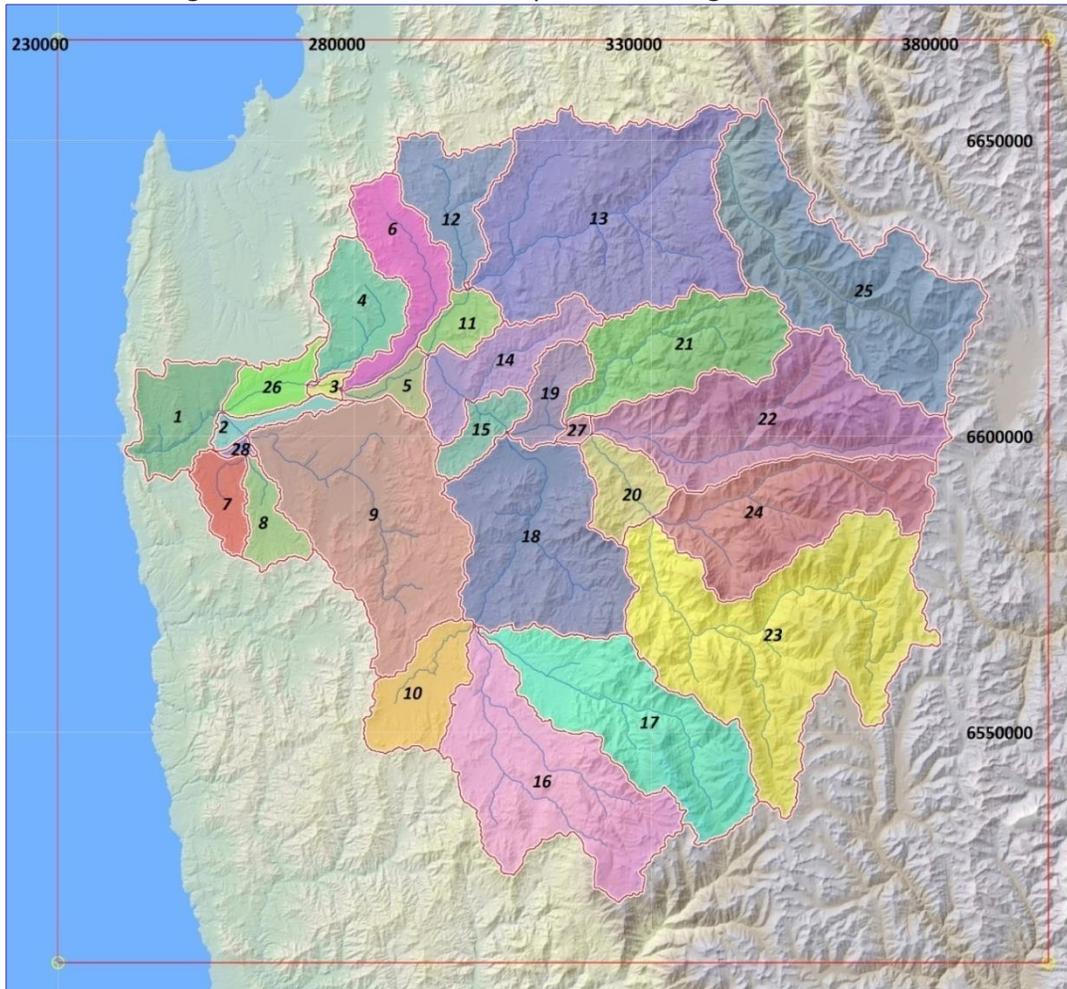
La DGA dispone de delimitaciones de cuencas en el BNA (catalogadas como cuencas, subcuencas y subsubcuencas); éstas se pueden utilizar como referencia. Las cuencas DGA fueron trazadas hace años y con otras herramientas, por lo que es necesaria una actualización o re-trazado según Datum WGS84, incorporando las bases altimétricas y programas actuales.

En esta sectorización resulta relevante definir las escalas de la base cartográfica que se utilizará. Se estima que en el caso de cuencas de gran tamaño y con gran número de captaciones de agua subterránea, la escala debería ser entre 1:100.000 y 1:200.000, mientras que en cuencas de regular a pequeño tamaño debería ser del orden de 1:50.000. En cuencas pequeñas, como por ejemplo de pequeños salares o costeras de secano, una escala entre 1:20.000 y 1:50.000, sería suficiente, dependiendo del tamaño del formato de presentación.

Como se deduce del párrafo anterior, la escala apropiada depende de la extensión de la zona estudiada y del formato que se decida emplear para las figuras o planos a entregar. Si se trata de un área extensa, como la cuenca del río Maipo y el formato de entrega es carta apaisada, la escala debe ser 1:750.000. Para el mismo formato, una superficie intermedia, como la de los ríos La Ligua y Petorca, se ajusta con 1:375.000. Una cuenca pequeña, como la del estero Tapihue, afluente del estero Los Puercos, se puede presentar en escala 1:40.000, en tamaño carta. Si se usa formato A2 (42·59 cm), para presentar un plano de la cuenca del mismo estero Tapihue, la escala puede ser 1:20.000. Por consiguiente, la escala se debe decidir en cada caso, según los tamaños de formatos de figuras o planos y la extensión del área estudiada.

En la Figura 6.2-5 se muestra un ejemplo de este tipo de sectorización preliminar.

Figura 6.2-5. Sectorización preliminar según subcuencas



6.2.5 Hidrogeología

Los aspectos hidrogeológicos que primeramente se deben tener en cuenta, para efectuar la sectorización acuífera definitiva, se relacionan con la física del flujo subterráneo, es decir, con aquellas partes o propiedades del sistema que determinan la dinámica del flujo subterráneo y la relación entre cada zona acuífera.

Este punto se ha desarrollado partiendo por aspectos hidrogeológicos generales y más simples, para llegar a los que requieren mayor elaboración. En ese contexto, se ha planteado partiendo por la geología, seguida de geofísica, conocimiento de la geometría de los acuíferos y sus características de permeabilidad y de capacidad de almacenamiento, para finalmente incorporar la existencia de captaciones de agua subterránea, en cuanto a sus características y a los niveles de extracción, tal como se resume en el siguiente esquema:



Un primer aspecto que debe tenerse en cuenta es la geología del área, para lo cual una visión de la geología regional sirve de base, para a continuación profundizar con la geología local del sector en que se pretende efectuar la sectorización de acuíferos.

Tras la geología, se deben identificar las singularidades hidrogeológicas, tales como angostamientos con afloramiento de roca o transiciones entre formaciones de diferente origen y funcionamiento, y los elementos del sistema que constituyen fronteras o condiciones de borde (ríos con flujo abundante y permanente, lagos, lagunas de embalses, etc.). Las singularidades y fronteras pueden generar cierta independencia de los flujos o determinar alguna dependencia que se puede representar cualitativamente (conceptualmente) o matemáticamente.

El caso de frontera más común lo constituye el contacto roca-relleno, que corresponde a una delimitación entre el relleno sedimentario y las unidades de roca. Sin embargo, esta información debe utilizarse con los debidos resguardos dado que la experiencia indica (Cuenca del estero Casablanca) que se pueden generar inconvenientes si por ejemplo, el balance se realiza considerando la recarga tanto del relleno como del sector más allá del contacto roca-relleno (piedemonte y zonas altas de la cuencas), ya que podría darse, como en el caso citado, que luego surjan solicitudes de derechos en este último sector, que formen parte de la recarga definida, lo que implicaría afectación de derechos de terceros.

En muchos lugares las unidades de roca almacenan recursos de agua considerables; en otros, éstos son escasos y son explotados generalmente para uso doméstico, unifamiliar o de pequeñas comunidades rurales. Sin embargo, existe una diferencia importante en cuanto al potencial hidrogeológico del relleno con relación zonas de roca, por lo que es necesario diferenciar ambas zonas.

Habiendo conseguido un buen conocimiento de la geología en la cuenca o zona de estudio, se podrá generar un producto que afine la sectorización de acuíferos, al poder identificar diferentes formaciones con sus límites aproximados (rellenos, rocas, contactos), e incorporando estos antecedentes a la base cartográfica y topográfica.

Agregado a lo anterior, para una mejor identificación y caracterización hidrogeológica local, las prospecciones geofísicas son una herramienta muy útil, aunque no siempre es posible disponer de ellas o realizarlas.

El caso básico, donde no se cuenta con exploraciones geofísicas o levantamientos geológicos locales de detalle, se debe abordar buscando otros elementos morfológicos que lo permitan, como por ejemplo delimitando el relleno según la pendiente del terreno. A menudo el relleno coincide con las áreas más planas y los cambios bruscos de pendiente son indicadores de pie de monte en contacto con las áreas de sedimentos. Esta situación nos llevaría a poder generar un producto como el especificado en el punto 6.2.4, como máximo.

Entre la información hidrogeológica que se debe analizar o generar, está la geometría acuífera y las propiedades físicas de los medios.

La geometría se refiere a la estratificación o la forma que tienen las unidades saturadas; las que pueden presentarse, por ejemplo como acuíferos separados por capas de arcilla que funcionen con piezometría distinta. Esto no significa que sean totalmente independientes, dado que pueden producirse pequeños flujos a través de medios arcillosos, si las depresiones son lo suficientemente grandes como para inducir un gradiente que posibilite el flujo a través de una capa confinante, o bien estar conectados a través de pozos que captan desde ellos al mismo tiempo.

Una correcta definición de la geometría de los acuíferos se puede obtener de estudios geofísicos, particularmente los realizados con TEMs o NanoTEMs, y eventualmente SEVs, que se pueden complementar con las estratigrafías obtenidas de las perforaciones de las captaciones. A su vez, la profundidad del basamento rocoso con gravimetría o con los mismos tipos de ensayos geofísicos señalados, si este basamento no se ubica a gran profundidad.

Dado que la geometría acuífera suma un elemento de importancia a la sectorización, se puede generar aquí un producto que corresponde a una base cartográfica con la identificación de los sectores diferentes a lo que se agrega la presentación de perfiles y cortes geológicos que permitan adquirir una noción 3D del sistema en estudio.

Las propiedades físicas de los acuíferos de la cuenca o zona de estudio, se refieren a sus capacidades conductivas de agua (permeabilidades y transmisibilidades) y de almacenamiento de ésta (porosidad efectiva y coeficientes de almacenamiento), las que se pueden estimar con datos de pruebas de bombeo en captaciones existentes.

De existir diferencias importantes de estas propiedades entre zonas de un acuífero espacialmente continuo, esto ameritaría una subdivisión, dependiendo de la configuración del sistema. Por ejemplo, el caso de un acuífero lateral que descarga a un acuífero principal, en que el acuífero lateral tiene una permeabilidad equivalente promedio 2 órdenes de magnitud inferior al acuífero principal, requeriría una subdivisión, ya que los conos de depresiones en el acuífero lateral serán locales y no influirán mayormente la piezometría del acuífero principal.

Al agregar como información valores de los parámetros elásticos de los acuíferos, se podrá generar un producto ya bastante acabado de la sectorización de acuíferos que se incluirá sobre la base cartográfica, con lo que se contará ya con un plano hidrogeológico propiamente tal.

6.2.6 Captaciones Subterráneas

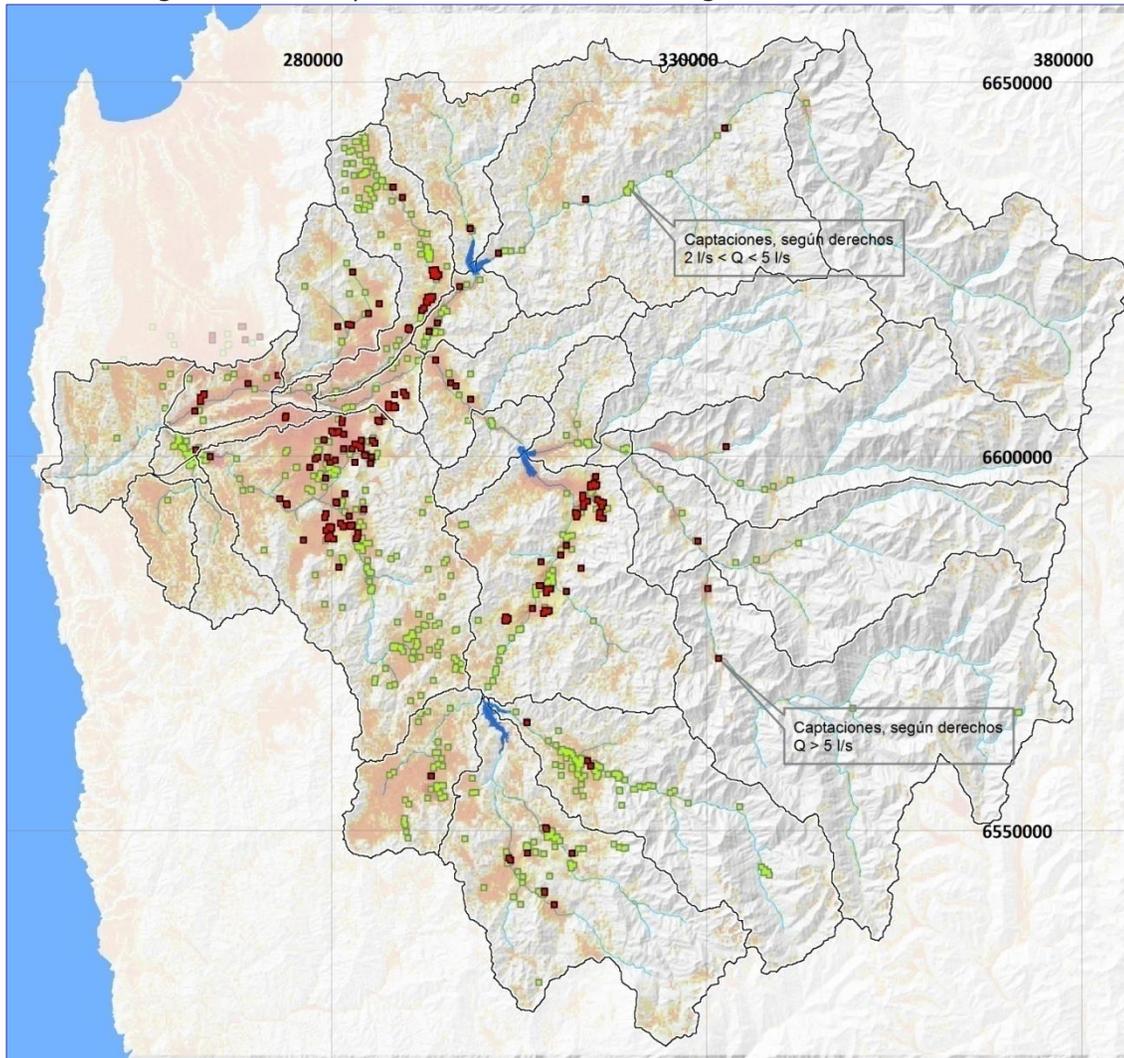
Si se cuenta con información de captaciones (catastro), se debe considerar en la sectorización, puesto que la relativa independencia de un sector con relación a un sector vecino, depende directamente de los niveles de extracción. En caso de no contar con catastros, la información de derechos solicitados, constituidos y denegados del área⁷, es un buen indicador de la situación del área estudiada, en cuanto al nivel de explotación. En la Figura 6.2-6 se muestran las captaciones, según las coordenadas incluidas en los expedientes de solicitudes de derechos en el ejemplo utilizado. Como se puede observar, existen captaciones en gran parte de la cuenca, sin embargo, muchas de esas captaciones extraen caudales menores para uso doméstico y su efecto sobre el sistema es local y marginal.

La existencia de captaciones, revelada por las coordenadas asociadas a los expedientes de derechos, constituye un indicador de áreas marginales, fuera del relleno principal donde existen recursos hídricos subterráneos, que podrían ser considerados al diferenciar sectores en el área estudiada.

El producto en este punto sería la ubicación de las captaciones y las características principales de algunas más representativas, en perfiles estratigráficos sobre el plano hidrogeológico construido.

⁷ Esos datos se pueden solicitar o descargar de la página de la DGA.

Figura 6.2-6. Captaciones subterráneas según datos de derechos



Nota: Se excluyeron las captaciones con caudales solicitados bajo 2 l/s

6.2.7 Sectorización Acuífera

En esta fase del análisis se efectúa la sectorización acuífera final, afinando o modificando la sectorización preliminar en subcuencas realizada originalmente. Para ello se debe integrar la información de singularidades y fronteras hidrogeológicas, antes mencionadas, como contacto roca-relleno, cauces con escorrentía permanente, lagos, lagunas de embalses, descarga al mar, angostamientos con afloramiento de roca, etc. También se debe considerar la distribución de captaciones subterráneas en el área.

En gran medida, la integración de la información descrita en los puntos anteriores, consiste en conceptualizar el funcionamiento del sistema acuífero y su vínculo con la escorrentía superficial.

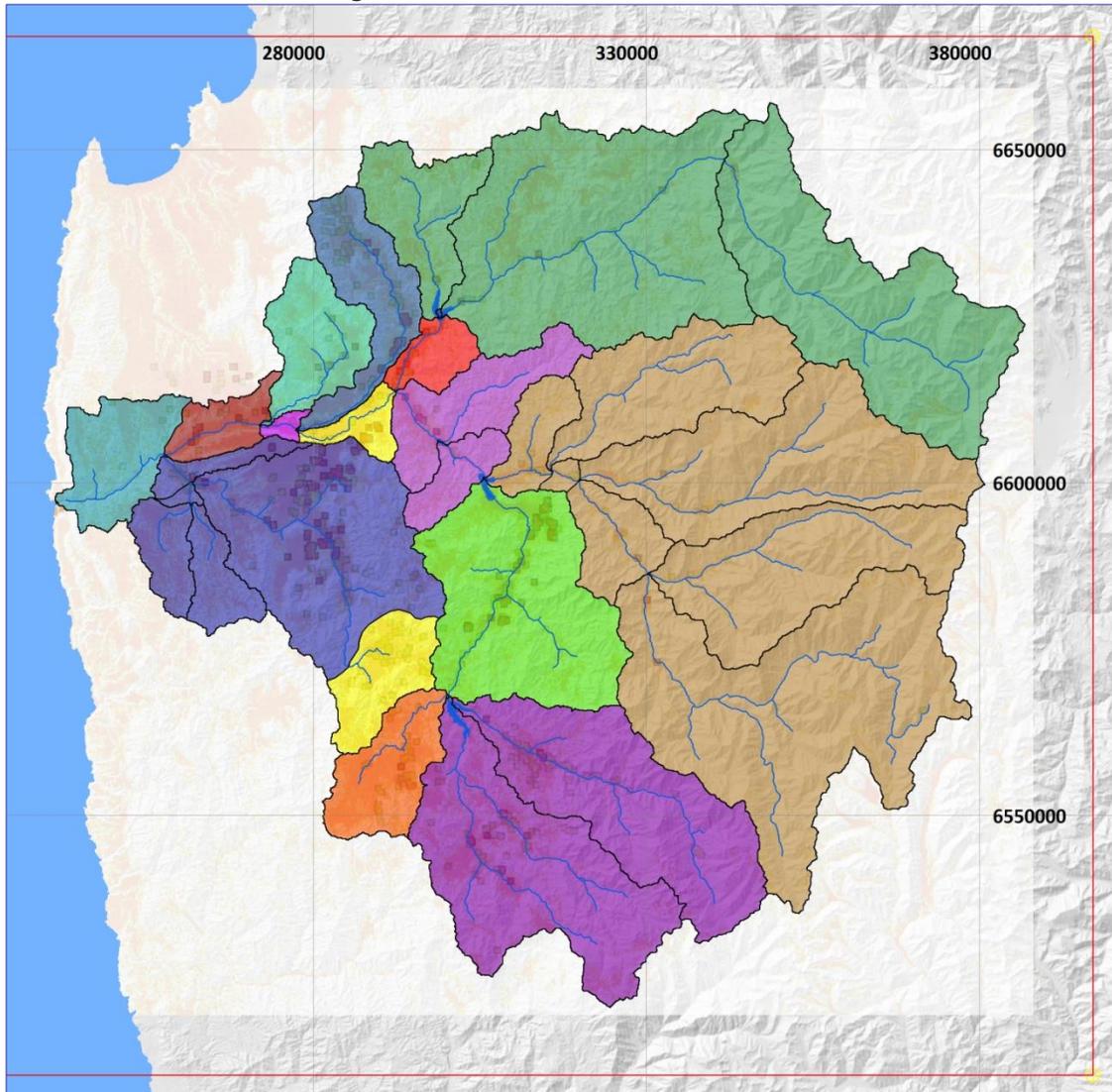
El entendimiento del funcionamiento del sistema subterráneo permite elegir las divisiones adecuadas para cumplir con el objetivo de la sectorización acuífera, que es dividir un sistema acuífero minimizando las mutuas dependencias.

Ligado a la conceptualización del funcionamiento del acuífero, es posible que sea necesario plantear algunas hipótesis acerca de cómo se entienden los procesos físicos que intervienen en el sistema de interés. Dichas hipótesis justificarán algunas de las divisorias adoptadas en la sectorización acuífera. Las hipótesis mencionadas serán descritas y ejemplificadas más adelante y se relacionan con efectos, influencias, fuentes de recargas, etc.

En la Figura 6.2-7 se muestra la sectorización acuífera elaborada teniendo en cuenta los aspectos hidrogeológicos y las subcuencas delimitadas. Cada zona de color uniforme representa un sector acuífero; no obstante, cada uno de éstos, se puede subdividir (como se puede ver en la figura) si se requiere una sectorización más fina.

Los sectores definidos minimizan las relaciones e influencias mutuas. El vínculo más común es el del flujo pasante, desde un sector en particular al que se ubica inmediatamente aguas abajo de éste.

Figura 6.2-7. Sectorización acuífera



6.2.8 Elementos o Casos Adicionales a Considerar para la Sectorización Acuífera

Existen otros factores no relacionados directamente con la física del flujo subterráneo sino más bien con aspectos antrópicos y de calidad del agua que deben considerarse en la sectorización de acuíferos, como son los niveles, localización de extracciones importantes de la napa, la intención de proteger áreas ambientalmente sensibles alimentadas por aguas subterráneas o la calidad físico-química del agua.

El caso del nivel de extracción se puede visualizar en un área plana, donde la intensidad del bombeo puede extender la divisoria de un cierto sector hidrogeológico, e incluso más allá de la divisoria del flujo superficial.

El caso de áreas ambientalmente sensibles puede significar la delimitación de un sector que asegure la no afectación o una afectación mínima de los flujos que sustentan la zona que se busca proteger.

La calidad físico-química del agua puede ser determinante en la sectorización cuando se analizan sistemas en los que existen masas de agua salada que se vinculan con el agua subterránea dulce por una zona de transición o interfaz agua dulce-agua salada. Las masas de agua salada pueden ser el océano (acuíferos costeros) o la salmuera almacenada subterráneamente en salares (acuíferos en cuencas endorreicas asociadas a salares). La interfaz mencionada constituye una divisoria natural móvil que depende directamente del flujo del acuífero y de la extracción.

Si en un acuífero costero se sectoriza la zona cercana a la costa y otra ubicada al interior, puede ser necesario determinar un vínculo (ver punto a continuación) puesto que si se excede el bombeo en la zona interior se afectará el flujo pasante hacia el mar, lo que provocará el avance del frente salado marino en el sector más costero. Un esquema semejante se presenta en torno a los salares, pero con una geometría radial.

6.2.9 Vínculos

El objetivo de independencia entre sectores acuíferos pocas veces se encuentra en sistemas reales, por ello, tras definir la sectorización acuífera es necesario establecer los vínculos o conexiones entre los sectores definidos.

El vínculo puede tratarse de un caudal pasante, en sectores ubicados en serie. Para estos sectores la recarga y la extracción aguas arriba afecta el flujo de entrada en sectores ubicados aguas abajo.

En sectores emplazados en paralelo, el vínculo puede ser un límite móvil asociado al nivel de extracción en ambos sectores.

Otro tipo de vínculo fue mencionado en el punto anterior, donde el nivel de extracción determina el riesgo de contaminación (salina en ese caso) o la afectación a una zona protegida.

De forma general se puede establecer que es necesario identificar describir o parametrizar vínculos en aquellos casos en que exista una dependencia física entre sectores (caudales pasantes, divisorias subterráneas sensibles a la extracción, etc.) o aquellos casos en que el funcionamiento de un sector influya sobre su propio estado (contaminación, salinización, etc.) o el de una zona relevante desde algún punto de vista (otro sector acuífero, zonas protegidas, etc.).

6.2.10 Productos Entregables Asociados a cada Nivel de Información

En el siguiente cuadro se especifica cuál es el producto de cada paso y su formato de presentación. Los productos se han uniformado como shapes de ArcGIS, no obstante la información se puede presentar como planos AutoCAD, teniendo en cuenta las limitaciones relacionadas con la base de datos. En ArcGIS la base de datos va integrada a cada elemento vectorial (archivo *.dbf) y en AutoCAD, ésta se debe agregar con llamados o tablas explícitas.

Tabla 6.2-1. Listado de productos entregables al final de cada paso de la metodología

Etapa o Nivel de Información / Producto Entregable		
6.2.1	Identificación de zona de estudio	
El producto entregable tras este paso es una figura o plano que incluya el rectángulo donde se ubica la envolvente de la cuenca o zona de interés (área a sectorizar) y la delimitación de la cuenca o el contorno del sector de interés. Las coberturas ArcGIS o shapes son:		
1	[Zona_de_estudio.shp]	Rectángulo envolvente de cuenca o zona de interés.
2	[Cuenca_o_zona_de_interés.shp]	Límite de cuenca o zona de interés.
Además se requieren coberturas ArcGIS (shapes), relacionadas con la ubicación y caracterización de la zona de estudio, éstas son:		
3	[Cauces_principales.shp]	Shape de líneas con los principales cauces en el área de estudio. Se refiere a los cauces más importantes, que se pueden trazar manualmente usando como base la cartografía IGM o Google Earth.
4	[Curvas_de_nivel_índices.shp]	Shape de líneas con curvas de nivel índices, cada 100 m, a lo menos.
5	[Caminos.shp]	Shape de líneas con los caminos del área de interés.
6	[Ciudades_Localidades.shp]	Shape de polígonos con los contornos de las principales ciudades o localidades ubicadas en el área de interés.
6.2.2	Base topográfica	
A las coberturas anteriores se debe agregar una base con curvas de nivel a lo menos cada 25 m. Para zonas planas el intervalo debería ser menor, como por ejemplo 5 m.		
7	[Curvas_de_nivel.shp]	Shape de líneas con curvas de nivel cada Δz m, con Δz entre 5 y 25 m.
6.2.3	Red de drenaje	
A la información anterior se debe agregar el resultado obtenido para la red de drenaje generada con la topografía.		
8	[Red_de_drenaje.shp]	Shape de líneas con la red drenaje.
6.2.4	Sectorización preliminar	
Se incorpora la delimitación de los sectores preliminares o subcuencas hidrológicas, trazados en función de la red de drenaje.		
9	[Sectores_preliminares.shp]	Shape de polígonos con los contornos de los sectores o subcuencas preliminares.

Etapa o Nivel de Información / Producto Entregable		
6.2.5	Hidrogeología	
Se deben agregar todas las coberturas relacionadas con los antecedentes hidrogeológicos disponibles.		
10	[Geología.shp]	Shape de polígonos que describe las unidades geológicas de superficie.
11	[Geofísica.shp]	Shape de líneas y puntos que incluye los perfiles y las estaciones geofísicas medidas.
12	[Captaciones_con_estratigrafías.shp]	Shape de puntos con las ubicaciones de las captaciones que cuentan con descripciones estratigráficas.
13	[esp_rell]	El Ráster con espesores de relleno.
14	[T_k_S.shp]	Shape de puntos con los valores de transmisibilidad, permeabilidad o almacenamiento estimados en función de datos de pruebas de bombeo.
15	[Trans]	Ráster con los valores de transmisibilidades en m ² /d (T).
6.2.6	Captaciones subterráneas	
La información de captaciones puede provenir de un catastro o de la base de derechos de la DGA. Los campos que incluye el shape de puntos de captaciones, depende del origen de la información. Si se dispone del archivo de derechos, sólo se cuenta con caudales solicitados y otorgados. Si se tiene un catastro, es posible contar con más datos asociados a las captaciones. Se puede complementar con información de curvas isofreáticas que se generen en caso de contar con información adecuada y suficiente.		
16	[NEs.shp]	Shape de puntos con las ubicaciones de las captaciones. Debe incluir los datos que se dispongan de niveles y otras variables como caudales, diámetros, profundidades, etc.
17	[Isofreáticas.shp]	Shape de polilíneas con las curvas isofreáticas generadas con los datos puntuales de niveles estáticos.
6.2.7	Sectorización acuífera	
Se agrega la delimitación de los sectores acuíferos finales, trazados en función de todos los antecedentes listados previamente.		
18	[Sectores_definitivos.shp]	Shape de polígonos con los contornos de los sectores acuíferos definitivos.
6.2.8	Elementos o casos adicionales a considerar para la sectorización acuífera	
Se debe incorporar información geográfica de zonas sensibles y las ubicaciones de los puntos con datos de calidad físico-química del agua. Además de cualquier otra información referencial asociada a casos especiales a considerar.		
19	[Datos_de_calidad_de_agua.shp]	Shape de puntos con las ubicaciones de los puntos en los que se han extraído muestras de agua para su posterior análisis de laboratorio.

Etapa o Nivel de Información / Producto Entregable		
20	[Zonas_sensibles.shp]	Shape de polígonos con los contornos de zonas ambientalmente sensibles (lagunas, vegas, bofedales, etc.)
6.2.9	Vínculos	
Finalmente, se deben incluir referencias de ubicación de secciones o áreas que se hayan considerado como vínculos entre los sectores acuíferos.		
21	[Vínculos.shp]	Shape de polígonos, líneas o puntos con la ubicación geográfica de las áreas, secciones o ubicaciones vinculantes entre sectores acuíferos. Por ejemplo, para sectores en serie, la sección vinculante es la salida subterránea del sector ubicado más hacia aguas arriba que coincide con la entrada subterránea del que se encuentra aguas abajo de éste.

6.2.11 Comparación de la Metodología con Caso Extranjero

Se analizó el caso de la cuenca del río Oreti, ubicada en Nueva Zelanda⁸. El análisis fue realizado usando como base el estudio hidrogeológico de la referencia.

Se debe tener en cuenta que la mayoría de los estudios relacionados con el tema, en el país y a nivel mundial, corresponden a estudios hidrogeológicos y no exclusivamente a análisis para sectorizar un sistema acuífero, aunque en muchos estudios hidrogeológicos se plantea implícita o explícitamente algún tipo de sectorización.

De acuerdo a lo anterior, es posible comparar algunos temas coincidentes del estudio hidrogeológico con la presente metodología de sectorización, no obstante, se debe considerar que ciertos aspectos particulares de la sectorización no son abordados en un estudio hidrogeológico típico, como el analizado.

Paso 1	Identificación de zona de estudio
---------------	--

La identificación de la zona de estudio y la cartografía base es cubierta de forma semejante a la planteada en la metodología. En las siguientes figuras se incluyen los productos asociados al primer paso de la metodología.

Productos paso 1

✓	1	[Zona_de_estudio.shp]
✓	2	[Cuenca_o_zona_de_interés.shp]
✓	3	[Cauces_principales.shp]
✓	4	[Curvas_de_nivel_índices.shp]
✓	5	[Caminos.shp]
✓	6	[Ciudades_Localidades.shp]

⁸ Hydrogeology of the Oreti Basin. Report prepared for Environment Southland by SKM, July 2005.

Figura 6.2-8. Zona de estudio cuenca del río Oreti

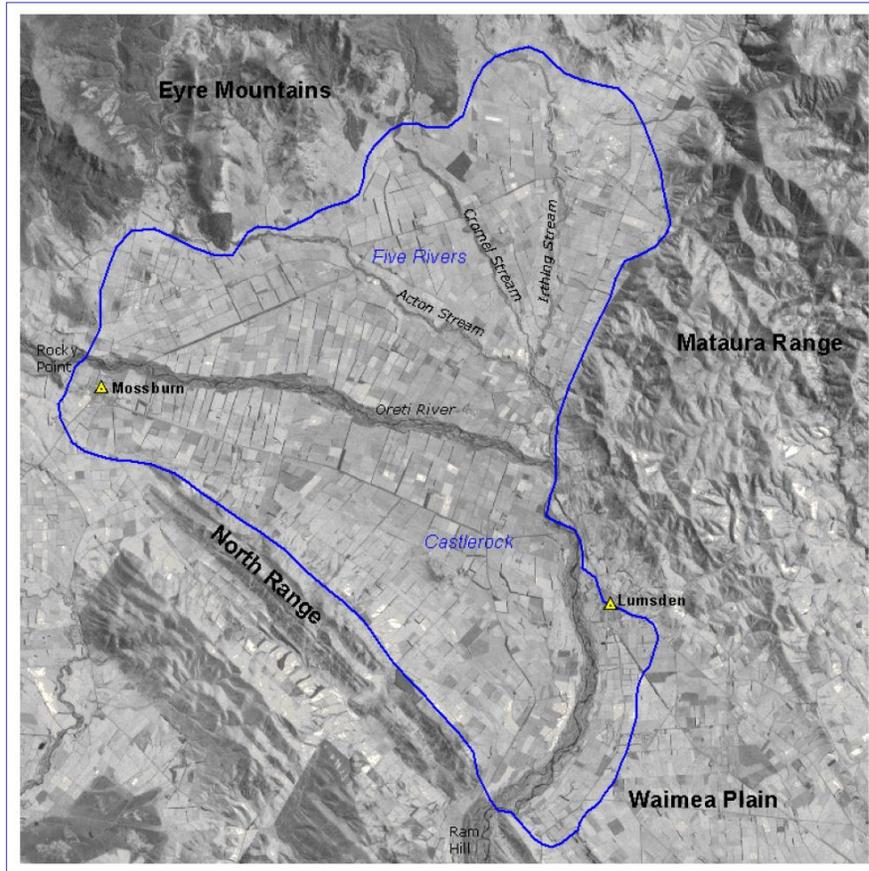
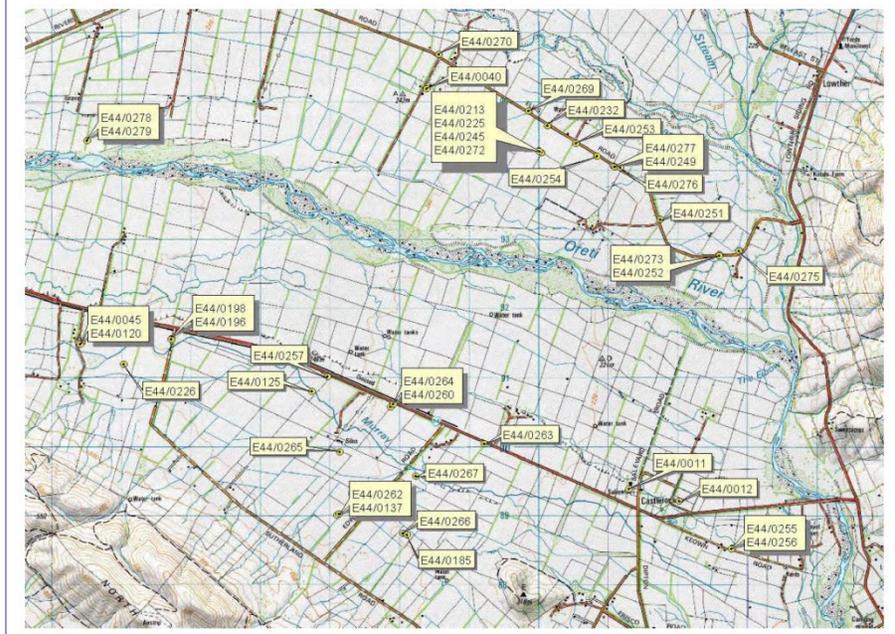


Figura 6.2-9. Información cartográfica en estudio cuenca del río Oreti



Paso 2 **Base topográfica**

En la Figura 6.2-8 se puede observar la base del relieve generada con un ráster como los mencionados en la metodología y las curvas de nivel (Figura 6.2-9).

Producto paso 2

✓	7	[Curvas_de_nivel.shp]
---	---	-----------------------

Paso 3 **Red de drenaje**

La red de drenaje también está incluida en la Figura 6.2-8. No es una red detallada como la que se obtiene matemáticamente de un ráster de elevaciones, pero se puede utilizar de forma semejante.

Producto paso 3

✓	8	[Red_de_drenaje.shp]
---	---	----------------------

Paso 4 **Sectorización preliminar**

En este estudio hidrogeológico no existe una sectorización hidrogeológica preliminar.

Con relación a eso, es posible advertir la mayor diferencia entre el enfoque metodológico de la sectorización, con el estudio de la cuenca de Oreti. La componente superficial no fue analizada en términos de cuencas de aporte superficial, no se realizó un balance con la escorrentía superficial y su relación con el flujo subterráneo. Sólo se analizaron precipitaciones y se compararon con la variación piezométrica en el tiempo.

La zona de estudio fue definida como el área acuífera propiamente tal, excluyendo la delimitación de la cuenca hidrológica dentro de la cual el sistema acuífero está inmerso.

Producto paso 4

✗	9	[Sectores_preliminares.shp]
---	---	-----------------------------

Paso 5 **Hidrogeología**

Los antecedentes hidrogeológicos son análogos a los listados en la metodología de sectorización. Un aspecto interesante, es la categorización de los suelos, según su capacidad de drenaje. Si bien este aspecto no es determinante en la sectorización, es un elemento relevante al cuantificar la recarga subterránea. No se presenta geofísica, pero equivalentemente se cuenta con mucha información estratigráfica obtenida de las perforaciones.

Productos paso 5

✓	10	[Geología.shp]
✗	11	[Geofísica.shp]
✓	12	[T_k_S.shp]
✓	13	[Captaciones_con_estratigrafías.shp]

Figura 6.2-10. Corte geológico en estudio cuenca del río Oreti

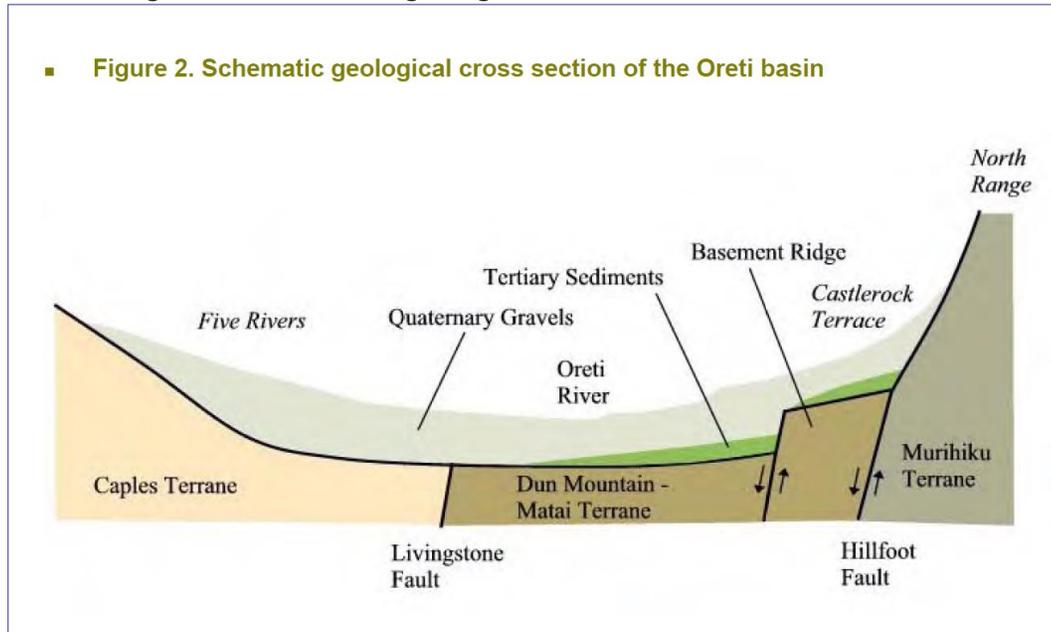
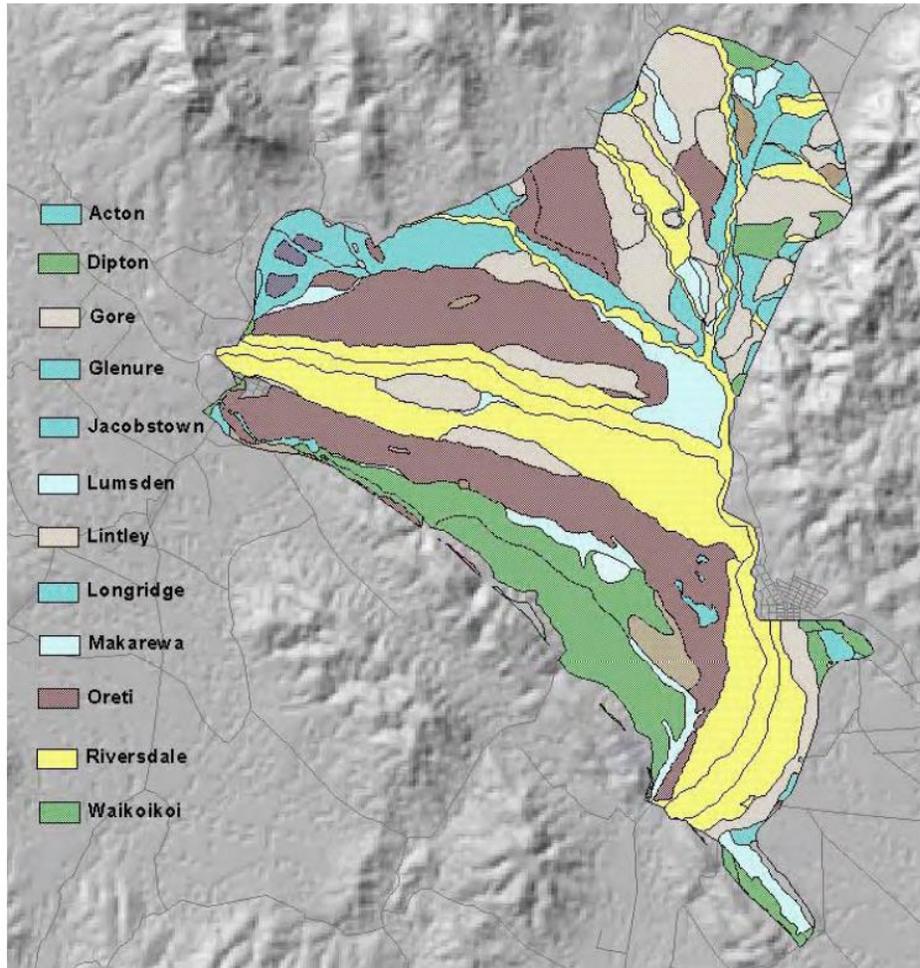


Figura 6.2-11. Tipos de suelos en estudio cuenca del río Oreti

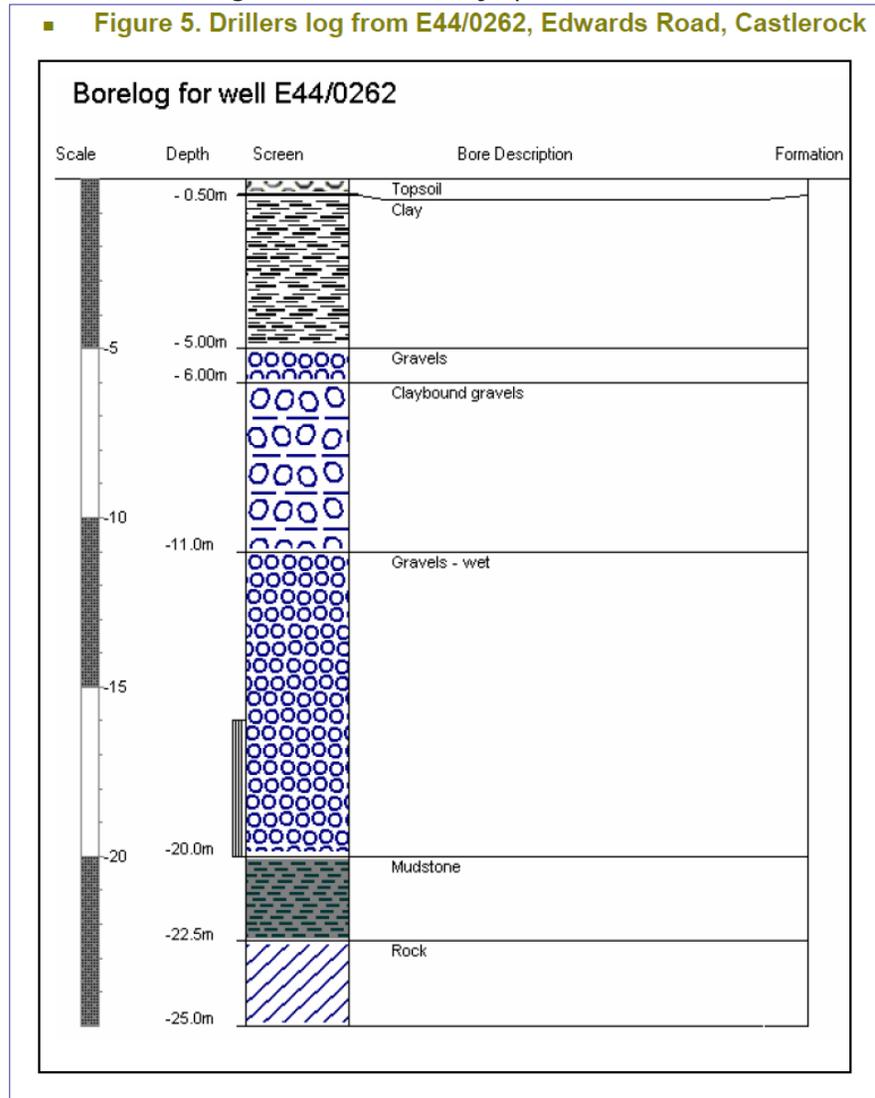
■ **Figure 7. Distribution of major soil types in the Oreti basin**



■ **Table 1 Physical characteristics of major soil types in the Oreti basin**

Soil Name	Order	Group	Internal Drainage	Water Holding Capacity (mm)	Total Area (Ha)	Percentage of Total Area
Riversdale	Recent	Fluvial	Well Drained	60-90	6506	26.3
Oreti	Brown	Firm	Well Drained	30-60	6246	25.2
Gore	Brown	Orthic	Well Drained	60-90	3210	13.0
Waikoikoi	Pallic	Perch-gley	Poorly Drained	90-150	1689	6.8
Jacobstown	Gley	Orthic	Poorly Drained	150-250	1117	4.5
Dipton	Pallic	Perch-gley	Poorly Drained	90-150	1037	4.2
Lumsden	Gley	Orthic	Poorly Drained	60-90	933	3.8
Lintley	Brown	Orthic	Poorly Drained	60-90	862	3.5
Longridge	Gley	Orthic	Poorly Drained	60-90	745	3.0
Acton	Gley	Orthic	Well Drained	90-150	686	2.8

Figura 6.2-12. Estratigrafía de un sondaje perforado en cuenca del río Oreti



Paso 6

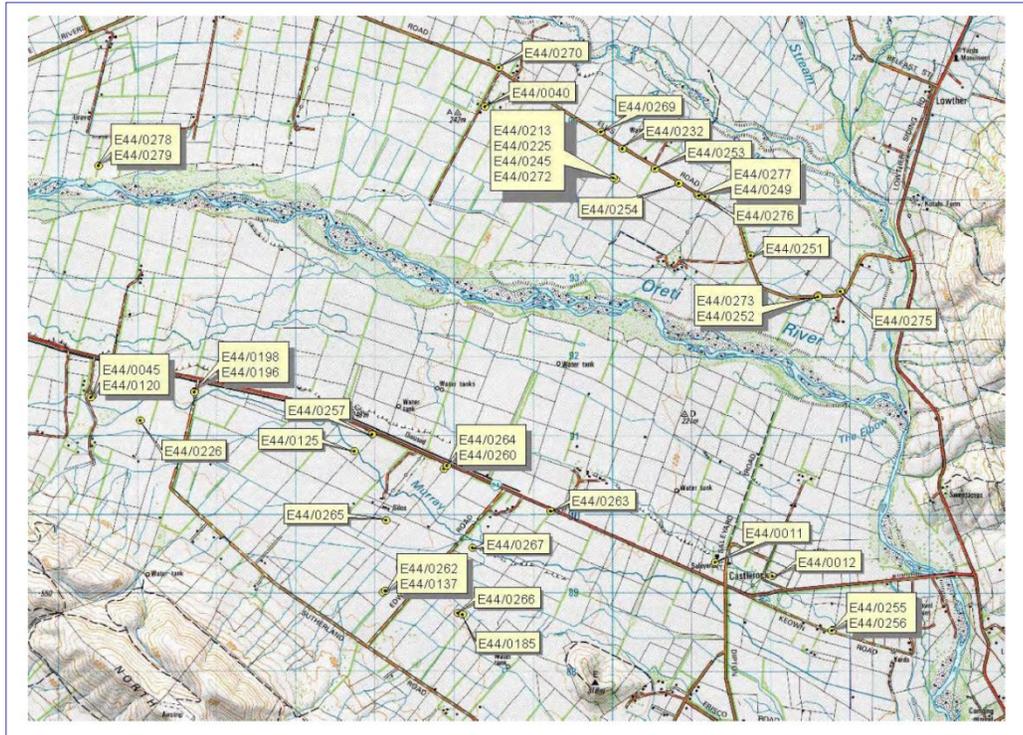
Captaciones subterráneas

La información de captaciones es bastante completa; incluye datos de niveles, estratigrafías, caudales, pruebas de bombeo, entre otros.

Producto paso 6

✓	14	[Captaciones.shp]
---	----	-------------------

Figura 6.2-13. Captaciones en cuenca del río Oreti



Paso 7 | **Sectorización acuífera**

La sectorización efectuada, tiene que ver exclusivamente con formaciones acuíferas. En este caso se conoce bastante bien la geometría acuífera y es posible caracterizar distintas unidades.

En la presente metodología dicha sectorización habría partido con la componente superficial, intersectando subcuencas con unidades acuíferas.

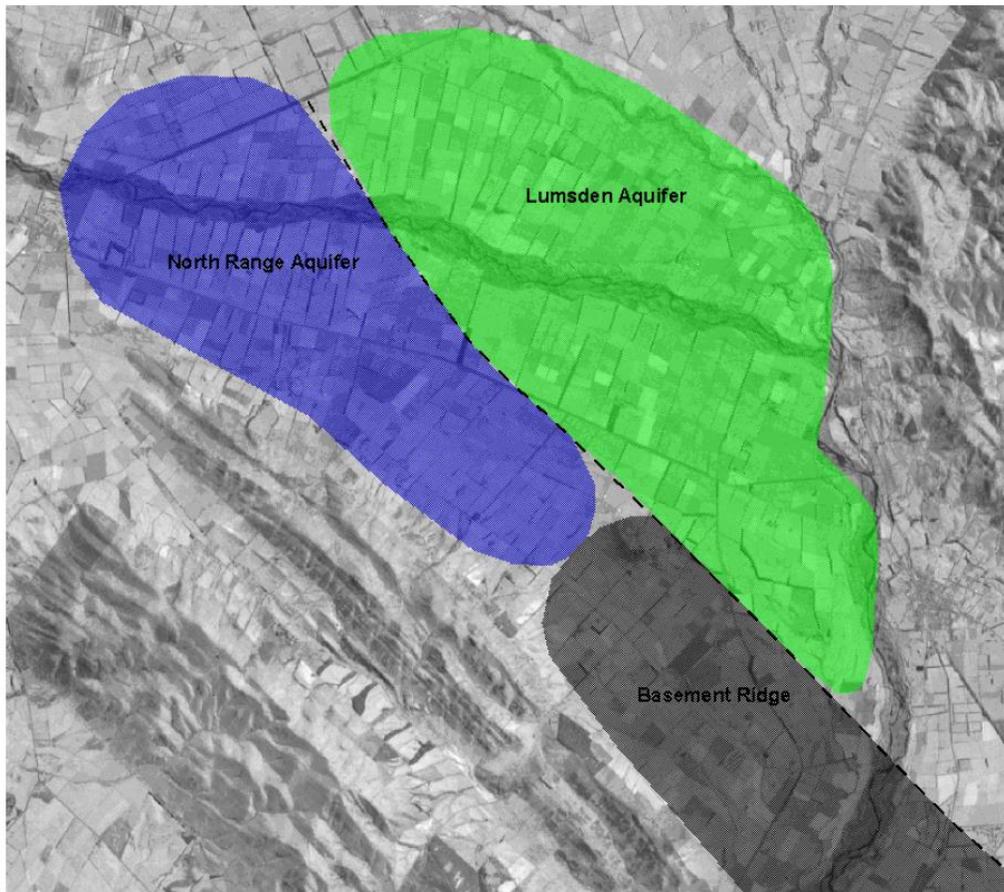
Como se ve en la Figura 6.2-14, las unidades acuíferas tienen formas aproximadas que se definieron de acuerdo a unidades acuíferas detectadas en profundidad.

Producto paso 7

✓	15	[Sectores_finales.shp]
---	----	------------------------

Figura 6.2-14. Sectores acuíferos en cuenca del río Oreti

■ **Figure 14. Interpreted extent of confined aquifers in the Oreti basin**



■ **Table 5. Classification of main groundwater resources in the Oreti basin**

Groundwater Management Unit	Confinement	Aquifer Type	Extent (Hectares)
Five Rivers groundwater zone	Unconfined	Riparian	13800
Oreti groundwater zone	Unconfined	Riparian	6130
Castlerock groundwater zone	Unconfined	Terrace	6800
Lumsden Aquifer	Confined	Confined	7200
North Range Aquifer	Confined	Confined	4270

Paso 8	Elementos o casos adicionales a considerar para la sectorización acuífera
---------------	--

La calidad físico-química de la cuenca de Oreti fue estudiada en detalle.

Productos paso 8

✘	16	[Zonas_sensibles.shp]
✔	17	[Datos_de_calidad_del_agua.shp]

Paso 9	Vínculos
---------------	-----------------

No se analizaron vínculos; las unidades acuíferas definidas tienen fronteras comunes, por lo tanto, debe haber alguna conexión. Los flujos entre zonas se pueden determinar aproximadamente con la piezometría incluida en el estudio o desarrollando un modelo de flujo subterráneo.

Producto paso 9

✘	18	[Vínculos.shp]
---	----	----------------

7 LIMITACIONES Y CARTOGRAFÍAS DE APLICABILIDAD Y DE EXCEPCIÓN

Los Términos de Referencia de esta licitación señalan en este punto que se debe expresar las limitaciones encontradas en la metodología propuesta, en cuanto a si hay lugares de excepción, vale decir si no es aplicable a ciertas zonas geográficas. A su vez, se pide establecer aquellos lugares de aplicabilidad de esta metodología.

La metodología desarrollada se ha elaborado de modo que pueda ser aplicable a cualquier sistema hidrogeológico de nuestro país, sin excepciones. Es por ello que la conceptualización ha sido general, de modo de abarcar todas las posibilidades que pudieran presentarse.

No obstante, la multiplicidad aparente de configuraciones hidrogeológicas que se podrían presentar, requiere aclarar algunos casos.

Un área en la que no se cuente con antecedentes geológicos, geofísica o de captaciones de agua subterránea podría entenderse como inabordable con la metodología desarrollada. Sin embargo, en una zona como ésta, sí se trabaja en ella para generar en primer lugar una topografía satelital, será posible realizar una sectorización hidrológica preliminar, según la red de drenaje e identificar el contacto roca-relleno en función de las variaciones de las pendientes del terreno. Por lo tanto, dicha zona se podría sectorizar según el esquema expuesto, pero aceptando cierta incertidumbre acerca de los espesores del relleno, la configuración estratigráfica o el nivel de alteración de las rocas. Esa incertidumbre podría resolverse en la medida que se realicen estudios y exploraciones futuras.

Otro ejemplo es el de las cuencas endorreicas, abundantes en el Norte de nuestro país, con sectores sensibles en el entorno al que convergen las aguas, sea éste una laguna o un salar; del mismo modo pudiera haber dudas de la aplicabilidad de la metodología propuesta.

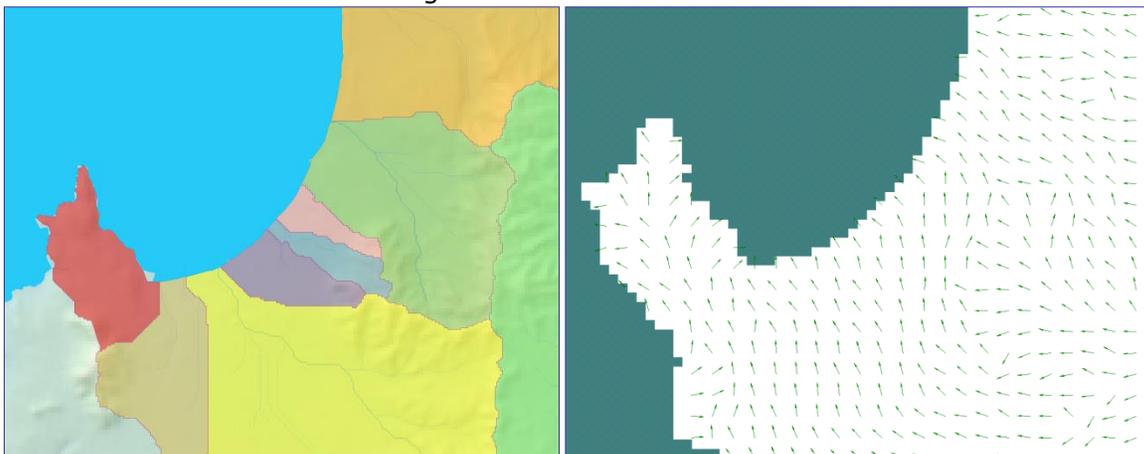
En rigor, en las cuencas endorreicas el problema que se presenta es que existen flujos superficiales radiales, con lo que la subdivisión hidrológica preliminar en subcuencas es algo distinta. En efecto, de existir cauces superficiales que drenan hacia el salar o laguna, sus cuencas serían sectores diferentes. De no existir estos, o donde no los haya, las descargas superficiales y subterráneas se producirán hacia los bordes perimetrales de los salares o lagunas.

Resuelta así la sectorización preliminar, el resto del proceso es análogo al de las cuencas exorreicas.

Al igual que las cuencas endorreicas, las islas constituyen un caso particular. En las cuencas endorreicas el flujo es radial hacia el centro; en las islas el flujo es radial hacia la periferia. En estos casos, la sectorización preliminar hidrológica, también debe efectuarse de forma diferente.

Se podría dividir la isla en subcuencas hidrológicas; sin embargo entre álveos vecinos quedarían zonas sin cauces (o con cauces cortos) que no formarían parte de la sectorización. Para evitar esto, se debe pensar en la descarga subterránea, que forma un continuo, y sectorizar según ésta. Alternativamente, si no se puede inferir la forma del flujo subterráneo, se puede asociar a cada subcuenca un tramo perimetral de descarga, prolongando la sección de descarga de cada cauce hasta empalmar con el área vecina, como se muestra en la Figura 7-1.

Figura 7-1. Definición de subcuencas



Se pueden mencionar también los casos de unidades de roca, donde el relleno sedimentario es marginal, es decir, donde el agua escurre a través de medios rocosos, zonas de roca alterada, fracturas u otros. El enfoque es semejante en cuanto al drenaje superficial. La

geología regional o local con la que sea posible contar, permitirá sectorizar de acuerdo a los tipos de unidades geológicas (volcánicas, graníticas, sanas, alteradas, etc.).

8 ACCIONES NECESARIAS PARA UNA ADECUADA SECTORIZACIÓN

Se ha desarrollado una metodología modular, teniendo como objetivo que sea aplicable a cualquier sistema hidrogeológico, variando la cantidad y la complejidad de la información requerida para tal efecto. No obstante, en la medida en que se disponga de más información, será posible llevar a cabo una mejor definición de la sectorización.

Una de las situaciones que debe tenerse en cuenta es el de las delimitaciones complejas como por ejemplo:

- Las divisorias de subcuencas asociadas a cauces de descarga mixta, es decir, si el caudal del cauce excede cierta magnitud el flujo puede dividirse hacia 2 zonas ubicadas en dos subcuencas distintas, como ocurre en la cuenca del salar de Maricunga (región de Atacama) o en la cuenca el chorrillo Eduardo, en la Región de Magallanes.
- Los casos de portezuelos muy planos donde sólo es posible fijar una divisoria precisa con una topografía de mayor detalle.
- Zonas morfológicamente cambiantes, como las costras salinas de los salares, que se disuelven con precipitaciones intensas y la topografía de áreas planas puede inducir cambios en el drenaje superficial (salar de Atacama).

Por otra parte, las extracciones de agua resultan ser también factores determinantes en el desplazamiento de divisorias o en la propagación de efectos de un sistema a otro.

Para aquellos lugares en que no resulte posible aplicar la metodología con el nivel de información actualmente disponible, se han definido las acciones que permitan su utilización. Estas acciones o estudios complementarios pueden ser de diverso tipo (labores de terreno, levantamientos geofísicos, perforaciones, etc.).

A continuación se presenta un análisis de los principales acuíferos por Región que, de acuerdo con los estudios más recientes o más completos, igualmente requieren de algún estudio complementario para la aplicación integral de la metodología de sectorización propuesta.

Tabla 8-1. Principales Acuíferos por Región, Información Disponible y Requerida para la Aplicación Integral de la Metodología de Sectorización

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
I-XV	Río Lluta	Lluta	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <p>Geofísica</p> <ul style="list-style-type: none"> -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Sectores sensibles -Calidad físico-química
I-XV	Río San José	Azapa	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
I-XV	Cuencas altiplánicas (Lauca, Caquena)	Altiplánico	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles
II	Río Loa	Loa	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
II	Salar de Atacama	Salar de Atacama	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología <p><u>Información requerida</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles -Calidad físico-química
II	Río Loa	Ojos de San Pedro	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles -Calidad físico-química

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
II	Río Loa	Pampa Peineta	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles -Calidad físico-química
III	Río Copiapó	Copiapó	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
III	Río Huasco	Huasco	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles
IV	Río Elqui	Elqui	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geología - Catastro de captaciones -Sectores sensibles -Calidad físico-química

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
IV	Río Limarí	Limarí	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles -Calidad físico-química
IV	Río Choapa	Choapa	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
IV	Estero de Los Choros	Los Choros	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Calidad físico-química
V	Río Petorca	Petorca	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
V	Río La Ligua	La Ligua	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles
V	Río Aconcagua	Aconcagua	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga <p>-Calidad físico-química</p> <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VI	Rapel	Cachapoal	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles
VI	Rapel	Tinguiririca	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VI	Nilahue	Estero Nilahue	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles
VI	Estero Alhué	Estero Alhué	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Geofísica -Sectores sensibles -Calidad físico-química

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VI	Litueche	Litueche	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Calidad físico-química -Red de drenaje -Geología <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles
VI	Marchigüe	Marchigüe	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Red de drenaje -Geología -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VI	Las Cadenas	Las Cadenas	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geología -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles
VI	Navidad	Navidad	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Red de drenaje -Geología <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles -Calidad físico-química

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VII	Maule	Maule	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles
VII	Cauquenes	Cauquenes	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VII	Cauquenes	Purapel	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles -Calidad físico-química
VII	Cauquenes	San Juan	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VII	Cauquenes	Tutuvén	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles
VII	Cauquenes	Estero Belco, El Arenal y Las Garzas	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VII	Cauquenes	Estero Camarico, Taqueral y Los Coipos	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles
VII	Maule	Perquilauquén	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles -Calidad físico-química

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VII	Maule	Estero Los Puercos	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles
VII	Maule	Estero Vaquería	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VII	Mataquito	Mataquito	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles
VII	Mataquito	Teno	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles -Calidad físico-química

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VII	Mataquito	Lontué	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles -Calidad físico-química
VII	Huenchullamí	Huenchullamí	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VII	Chanco	Chanco	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles
VII	Curepto	Curepto	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VIII	Itata	Itata	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles
VIII	Itata	Ñuble	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VIII	Costera e Islas entre río Itata y río BíoBío	Diguillín	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles -Calidad físico-química
VIII	Río BíoBío	Río BíoBío	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles -Calidad físico-química

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
VIII	Pocillas	Pocillas	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles
VIII	Lonquén	Lonquén	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
IX	Ríos Imperial y Toltén	Imperial y Toltén	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geología -Geofísica -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles
X-XIV	Río Bueno	Río Bueno	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
X-XIV	Río Maullín y Estero de Reloncaví.	Maullín y Reloncaví	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles
X-XIV	Río Valdivia	Río Valdivia	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
XI	Varias Cuencas	Sectores considerados: Levicán, Bahía Jara, Fachinal, Puerto Guadal, El León y Puerto Tranquilo	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Sectores sensibles -Calidad físico-química
XII	Cuenca de la Laguna Blanca	Cuenca de la Laguna Blanca	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje - Catastro de captaciones -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Relaciones con fuentes de recarga -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
XII	Cuenca de los ríos Chico y Grande	Cuenca de los ríos Chico y Grande	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles
XII	Península de Brunswick (cuencas que desembocan al Estrecho de Magallanes y al seno Otway)	Península de Brunswick (cuencas que desembocan al Estrecho de Magallanes y al seno Otway)	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
XII	Zona de Puerto Natales	Zona de Puerto Natales	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles
XII	Zona Última Esperanza	Zona Última Esperanza	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
XII	Zona de Tierra del Fuego	Zona de Tierra del Fuego	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles
XII	Sector Continental	Sector Continental	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
XIII	Río Maipo	Río Maipo	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles
XIII	Río Maipo	Río Mapocho	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
XIII	Yali	Yali	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías -Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles
XIII	Alhué	Alhué	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Geofísica -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga -Calidad físico-química <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sectores sensibles

Región	Cuenca	Acuífero	Información Disponible y Requerida
XIII	Puangue	Puangue	<p><u>Información disponible:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Definición de cuenca o área de estudio -Base topográfica -Red de drenaje -Geología -Parámetros elásticos -Estratigrafías - Catastro de captaciones -Relaciones con fuentes de recarga <p><u>Información requerida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Geofísica -Sectores sensibles -Calidad físico-química

9 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE SECTORIZACIÓN ACUÍFERA

Los procedimientos que se presentan a continuación, son el resultado de la aplicación de la metodología de sectorización acuífera. Dicha aplicación corresponde a un ejercicio para validar la metodología propuesta en 2 cuencas seleccionadas por la DGA. Con ello, no se pretende que las sectorizaciones obtenidas sean o reemplacen las delimitaciones que actualmente pueda tener la DGA.

Por consiguiente, es necesario enfatizar que los resultados obtenidos, por ningún motivo, deben ser considerados como una nueva sectorización de la DGA y sólo corresponden a ejercicios o ejemplos de la metodología desarrollada.

La aplicación de la metodología a las dos cuencas seleccionadas: Culebrón – Lagunillas y Gaby - Los Morros, se ha organizado con el texto explicativo completo, que se presenta a continuación, más las figuras que ilustran el proceso.

Dentro de este mismo capítulo se han incluido: la definición y caracterización de las principales unidades acuíferas en cada cuenca, así como las propuestas de sectorización y la representación espacial de las mismas, de forma de dar coherencia a la secuencia modular desarrollada a partir de la aplicación de la metodología.

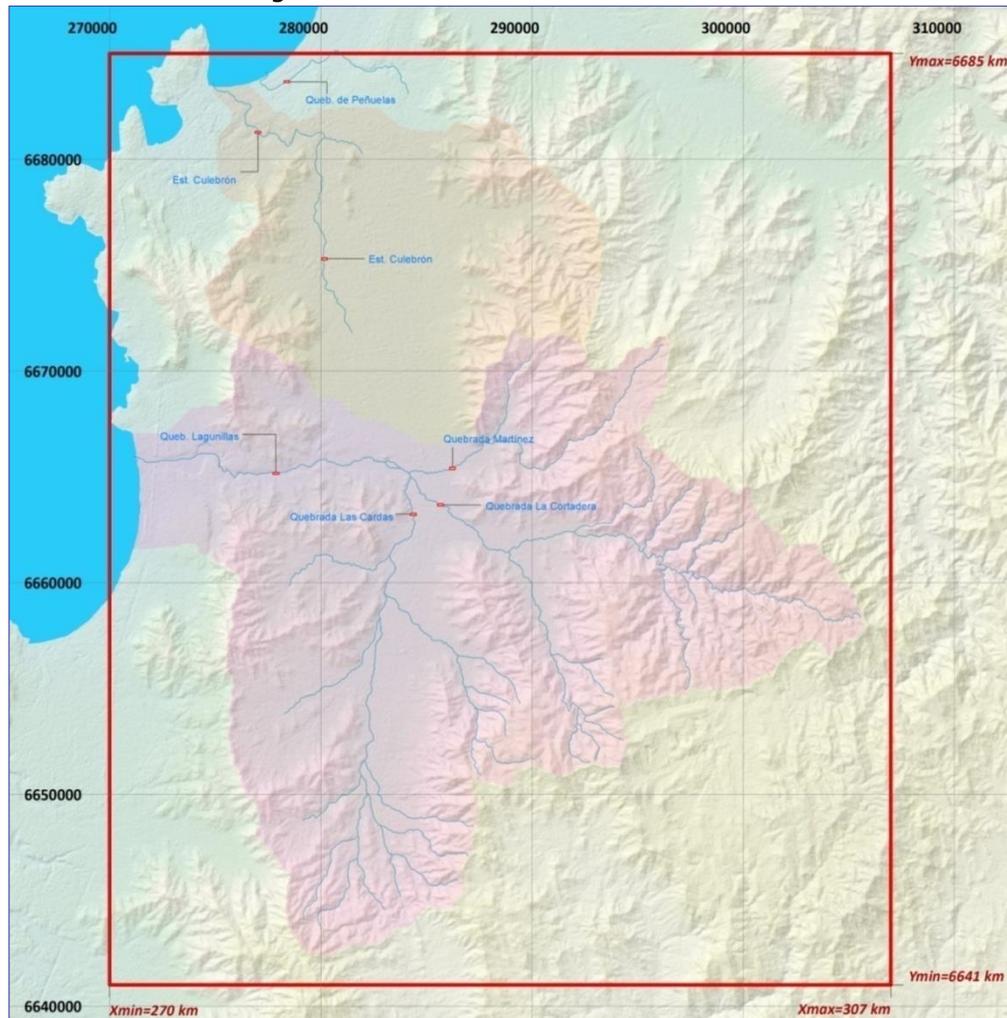
9.1 Zona 1: Valle de Pan de Azúcar (Cuenca Culebrón – Lagunillas)

El valle de Pan de Azúcar se ubica en el área costera de la IV Región, al sur de la ciudad de La Serena. El valle está emplazado en las cuencas de aporte superficial del estero Culebrón y de la quebrada Lagunillas.

9.1.1 Identificación de Zona de Estudio

Se definió un rectángulo envolvente del área de interés. En la Figura 9.1-1 se muestran las coordenadas de sus vértices. El producto digital de este paso es un archivo AutoCAD que incluye el rectángulo y los textos de la figura indicada (ze.dwg).

Figura 9.1-1. Límites de zona de interés



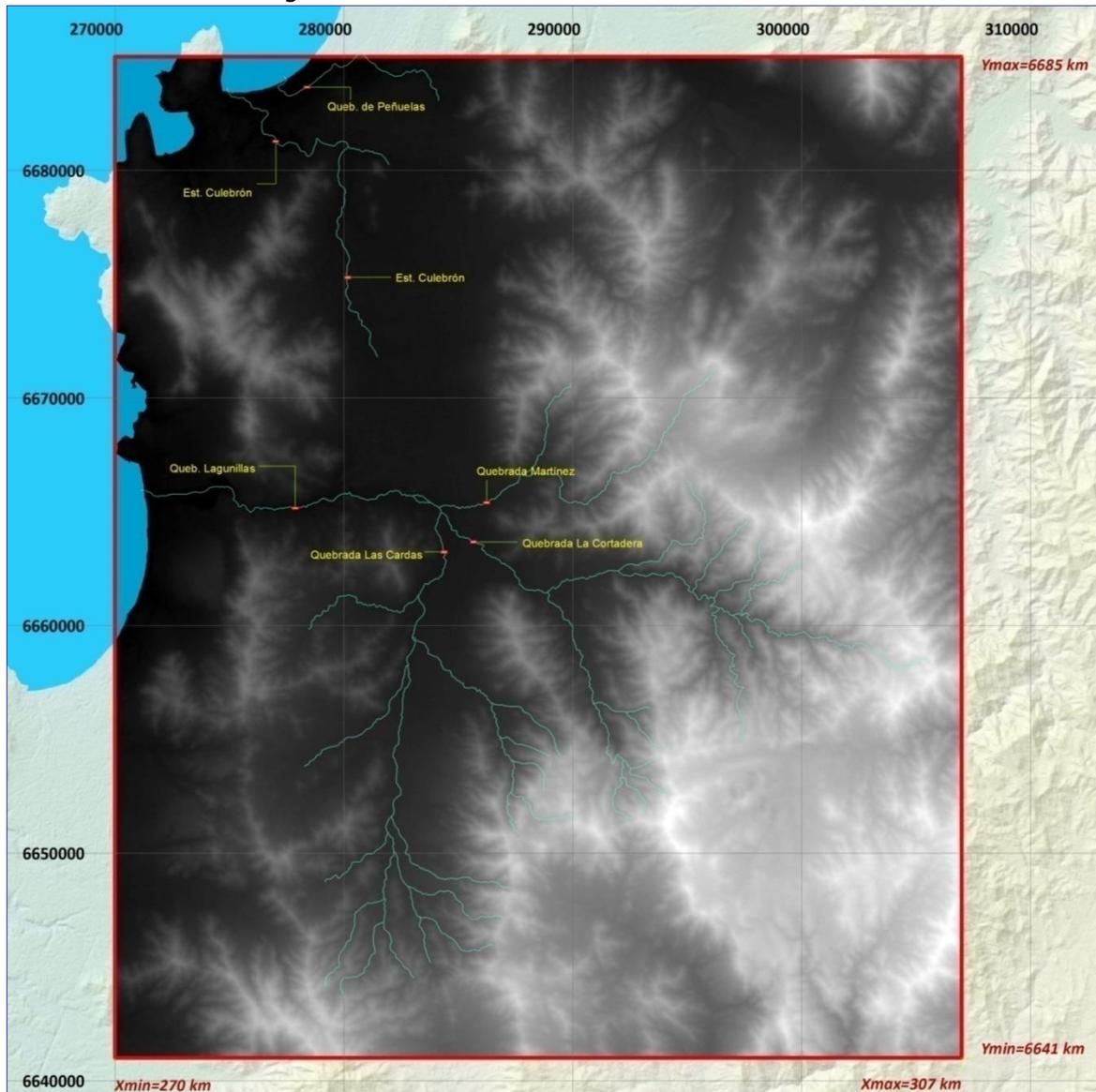
9.1.2 Base topográfica

Se descargó la grilla ASTER⁹ y se cortó el ráster¹⁰ según el rectángulo que envuelve al área de interés (ver Figura 9.1-2). El producto digital de este paso es el ráster ASTER mencionado.

⁹ La grilla ASTER (AdvancedSpaceborneThermalEmission and ReflectionRadiometer) corresponde a un reticulado de 29.11-29.11 m, con un dato de elevación en cada centro de celda. Se puede descargar en: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>

¹⁰ La grilla ASTER es un ráster.

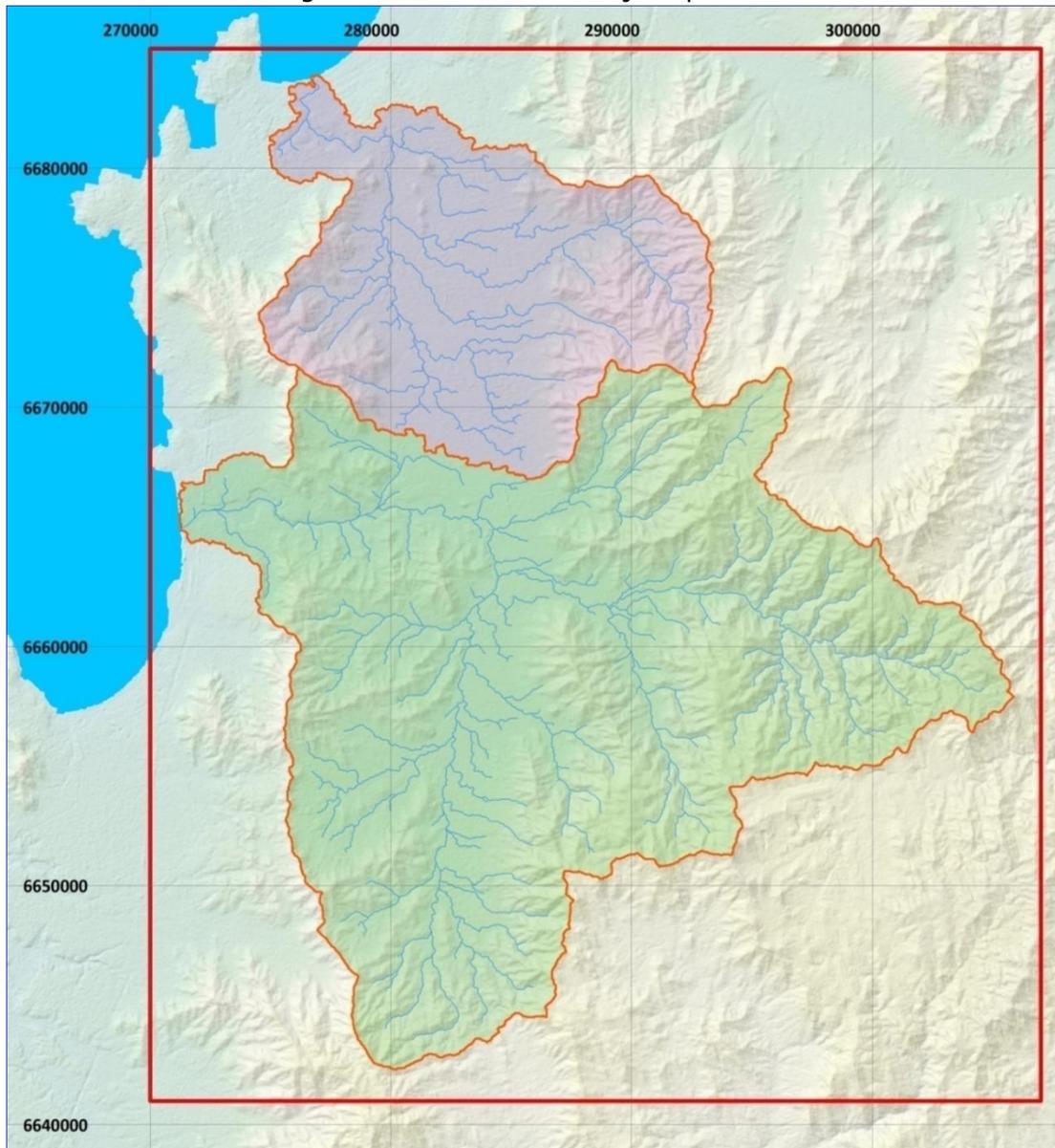
Figura 9.1-2. Ráster ASTER de zona de interés



9.1.3 Red de drenaje

La red de drenaje se trazó usando el programa WMS, versión 7.1, tomando como base el ráster ASTER. En la Figura 9.1-3 se muestra el resultado obtenido. El producto digital consiste en 2 coberturas (shapes); una es la delimitación de las cuencas (subcuencas.shp) y la otra corresponde a la red de drenaje (drenaje.shp).

Figura 9.1-3. Red de drenaje superficial



9.1.4 Sectorización preliminar

En la Figura 9.1-4 se muestra la sectorización preliminar, realizada en base a la red de drenaje obtenida según el procedimiento explicado en el punto 9.1.3.

Si se observa en Google Earth la zona donde convergen las quebradas Martínez, La Cortadera y Las Cardas, es posible apreciar que la subcuenca denominada Las Cardas Baja en la Figura 9.1-4, es innecesaria, dado que las quebradas convergen en un punto y no en el tramo de cauce que define esta subcuenca, como resultó del proceso matemático de generación del drenaje con el programa WMS. Por ello, se corrigió manualmente la delimitación de esa zona (ver Figura 9.1-5).

Según la corrección que se muestra en la Figura 9.1-5, la sectorización preliminar adoptada es la que se presenta en la Figura 9.1-6. El producto final de este paso es una cobertura que incluye los polígonos de cada sector acuífero preliminar (sectores_preliminares.shp).

Figura 9.1-4. Sectorización preliminar según subcuencas

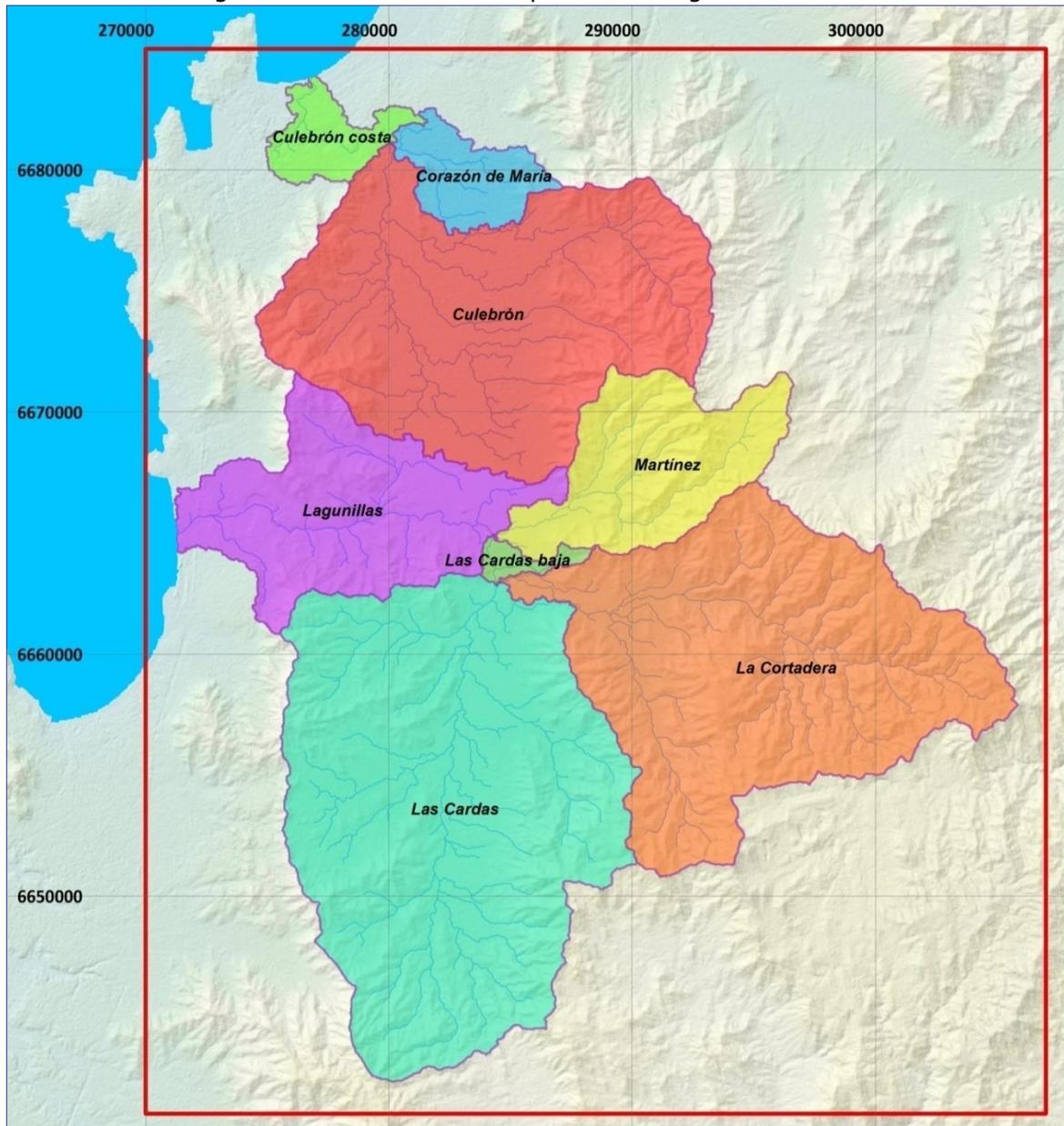


Figura 9.1-5. Corrección de sectorización preliminar según subcuencas

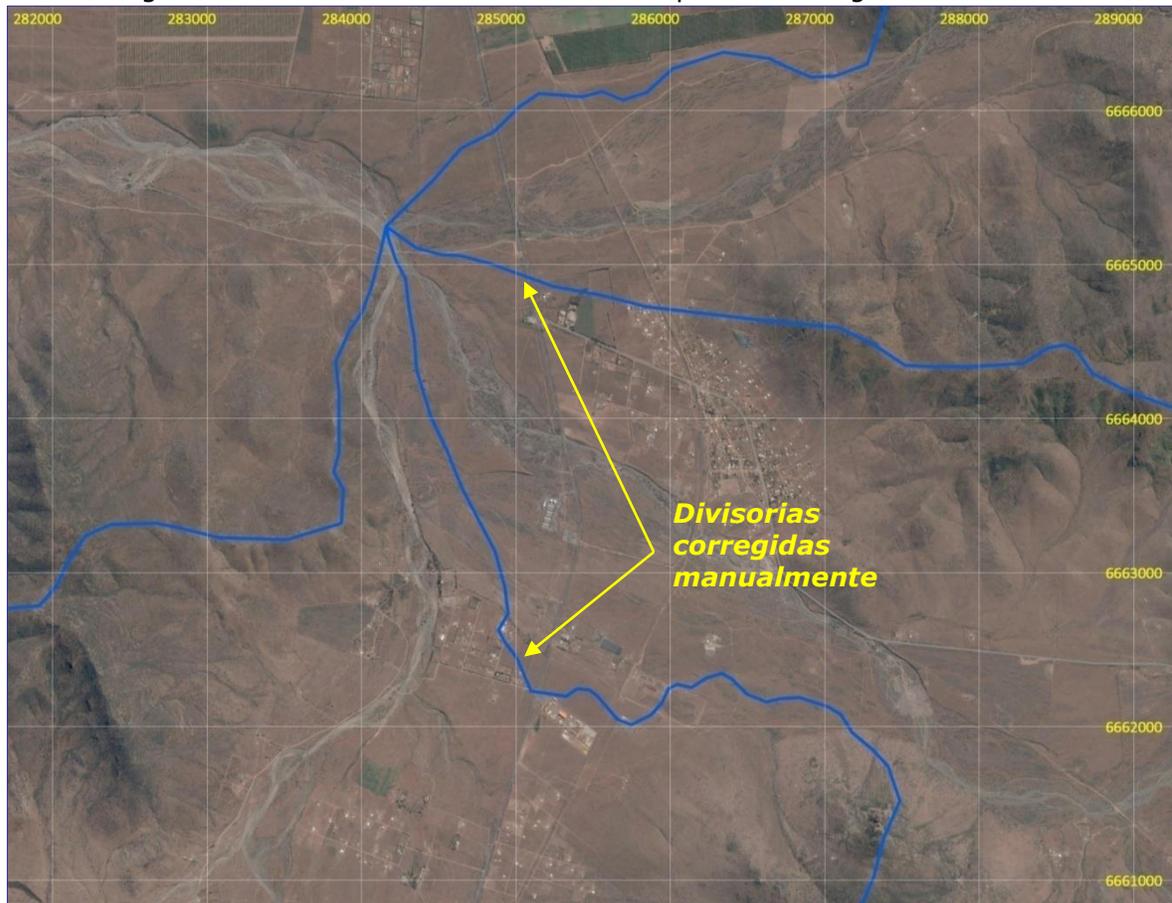
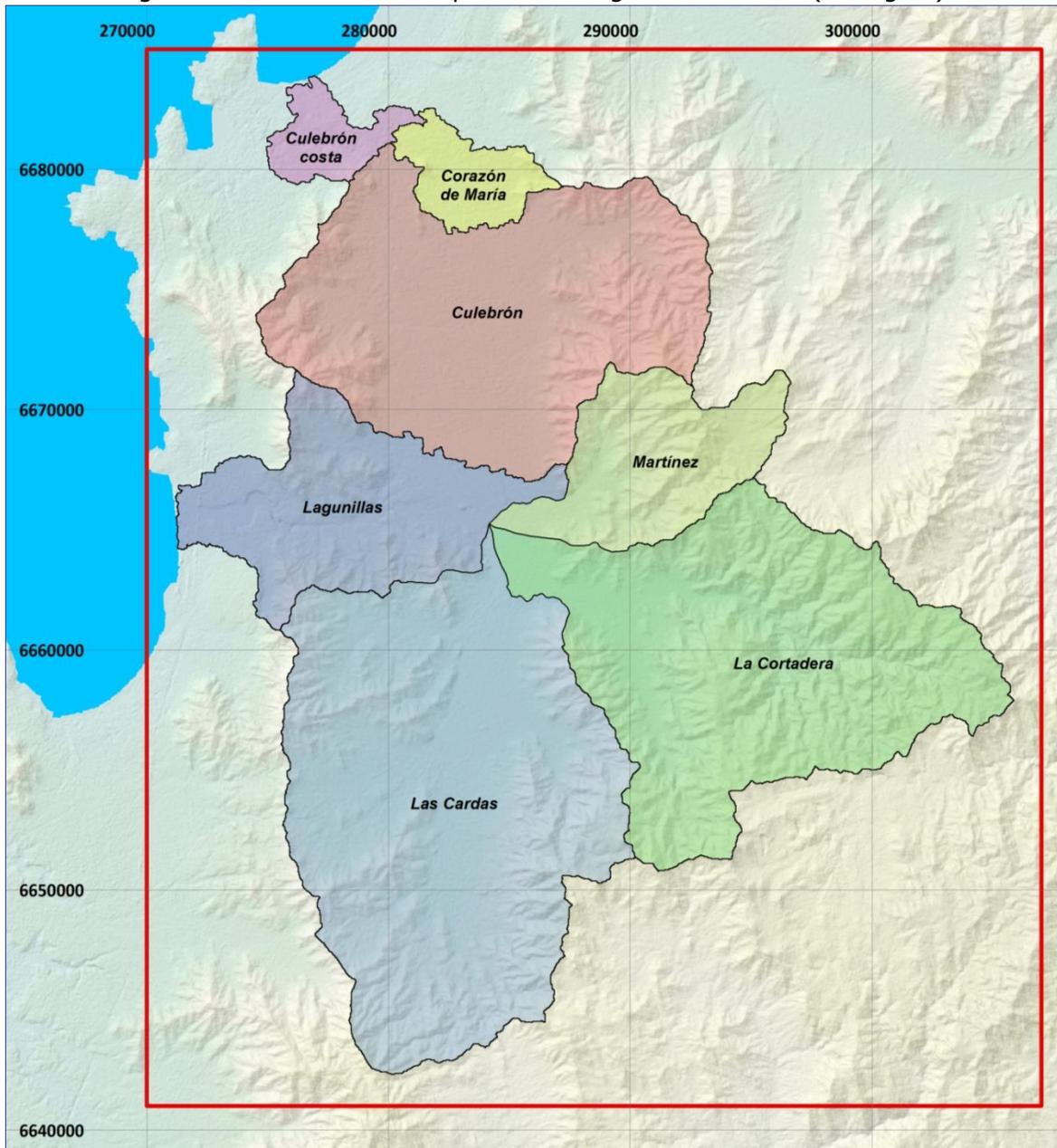


Figura 9.1-6. Sectorización preliminar según subcuencas (corregida)



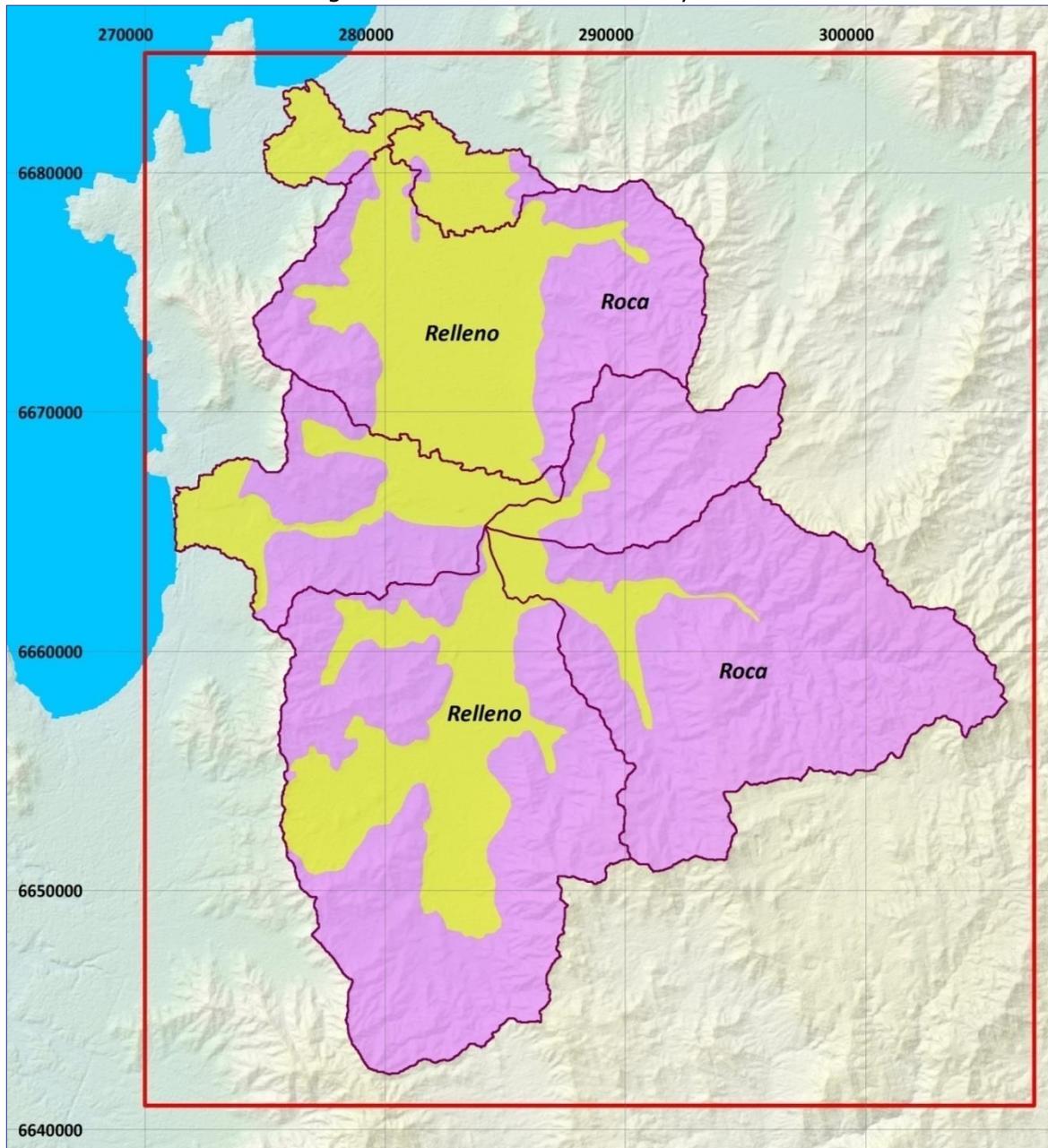
9.1.5 Hidrogeología

En este paso se analizaron los aspectos hidrogeológicos que a continuación se describen.

9.1.5.1 Geología

En la Figura 9.1-7 se muestran las áreas de relleno y roca junto a la delimitación de la sectorización preliminar. Como producto digital se incluye la cobertura con las zonas de relleno y roca (Contacto roca-relleno: CRR.shp).

Figura 9.1-7. Zonas de relleno y roca



9.1.5.2 Formaciones acuíferas

La caracterización de las formaciones acuíferas del área de estudio se realizó usando como base los datos geofísicos disponibles para la zona. Los antecedentes geofísicos permiten cuantificar el espesor de relleno (gravimetría y TEMs) y los tipos de medios existentes (TEMs). En la Figura 9.1-8 se muestra el espesor del relleno generado con datos gravimétricos y TEMs. En la Figura 9.1-9 se puede apreciar un perfil longitudinal del área de interés. En las Figuras 9.1-10 a 9.1-12 se presentan las interpretaciones de los perfiles TEM.

Los productos digitales de este paso son:

- a) Cobertura de puntos con espesores de relleno; incluye espesores obtenidos de gravimetría y TEMs (prof_rell.shp).
- b) Cobertura de puntos con los TEMs de 2014.
- c) Plano AutoCAD con las líneas que definen los perfiles TEM de 2014.
- d) El Ráster con espesores de relleno (prof_rell).

Figura 9.1-8. Espesor del relleno

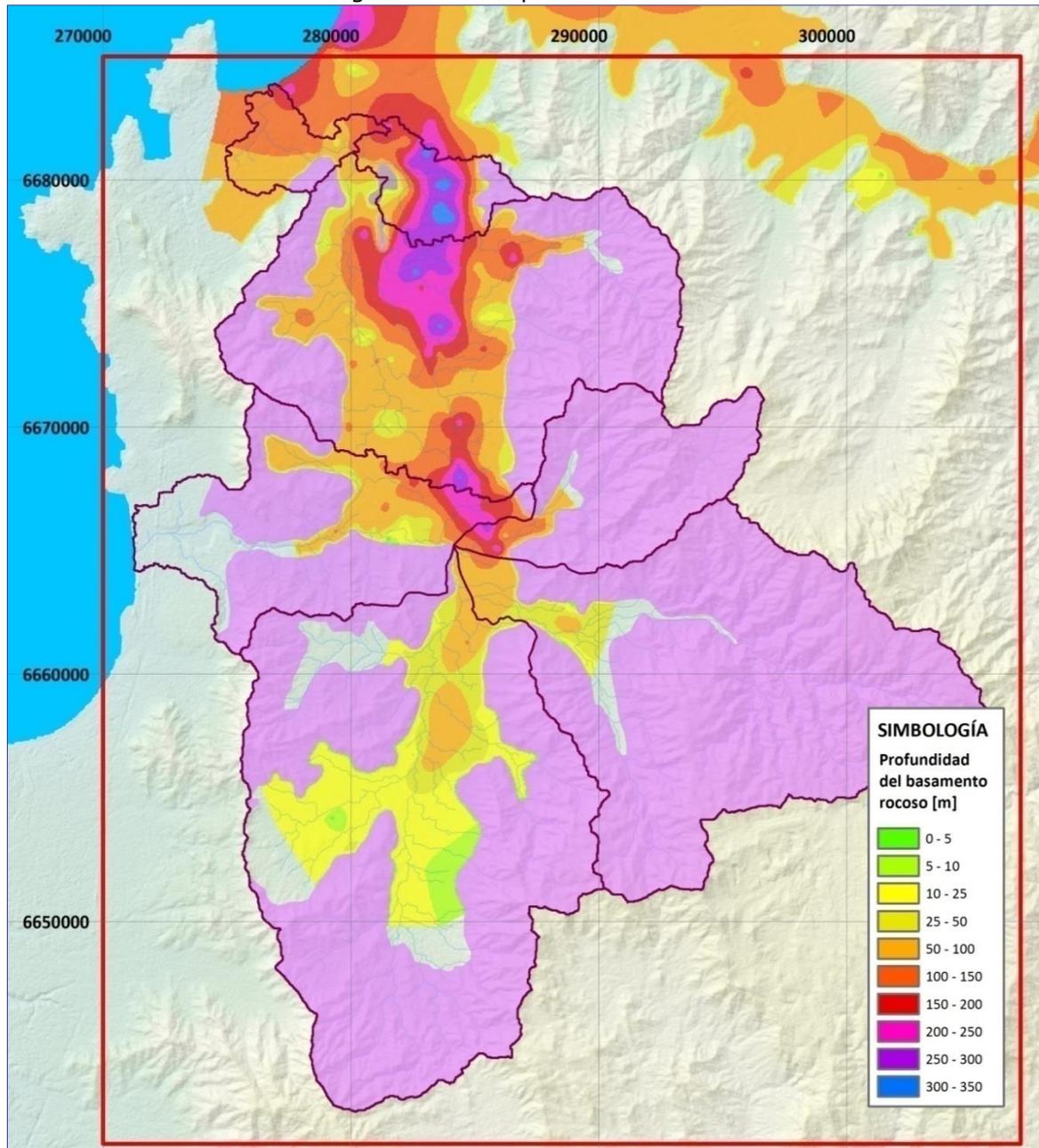


Figura 9.1-9. Perfil longitudinal Valle de Pan de Azúcar

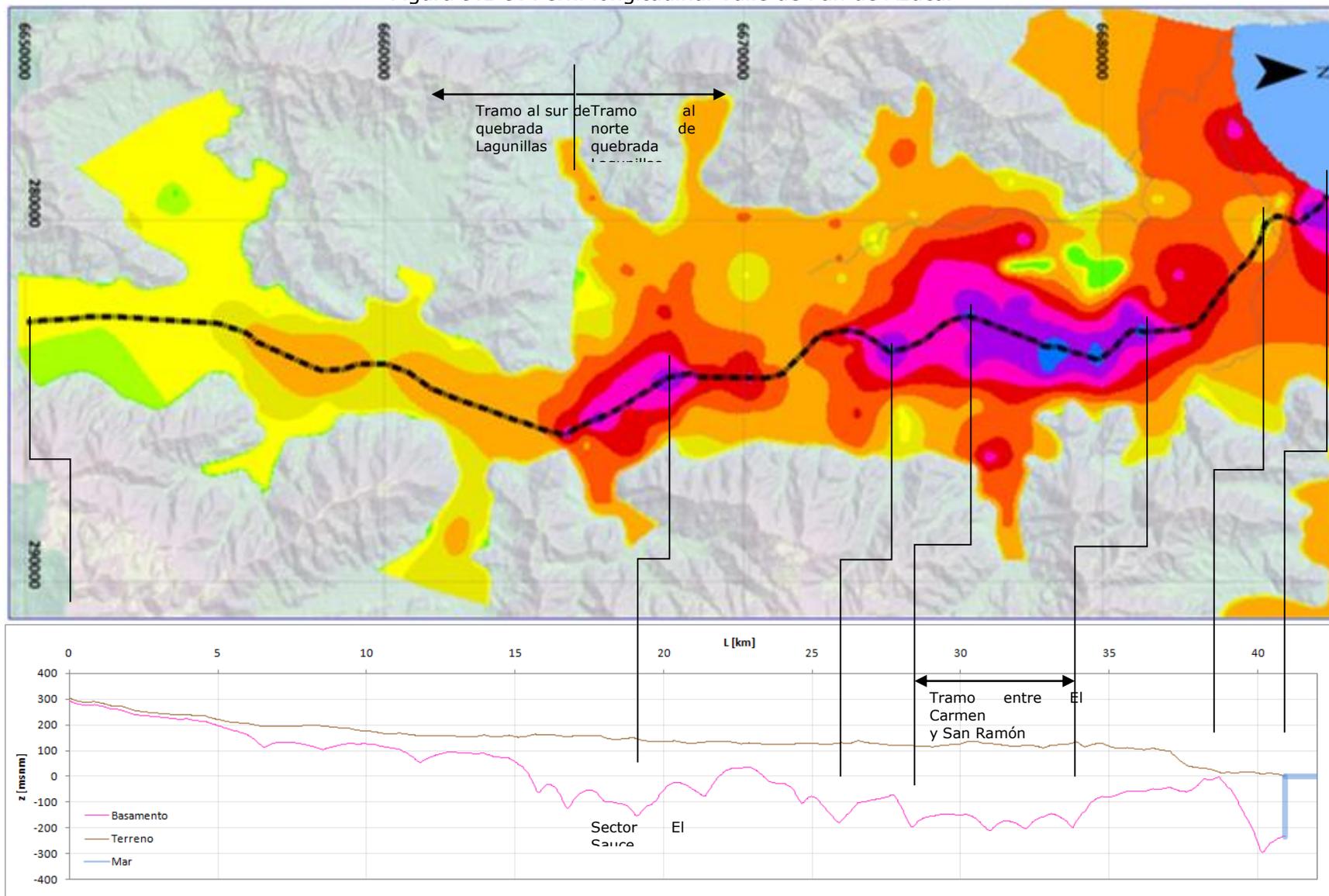


Figura 9.1-10. Perfiles zona sur del Valle Pan de Azúcar

Ubicación en planta

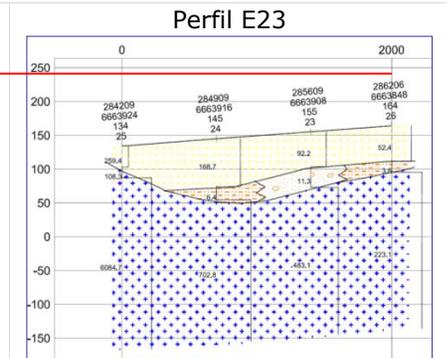
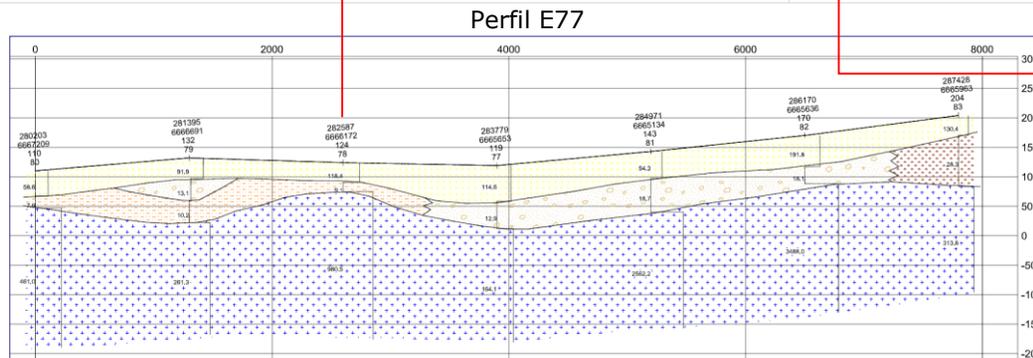
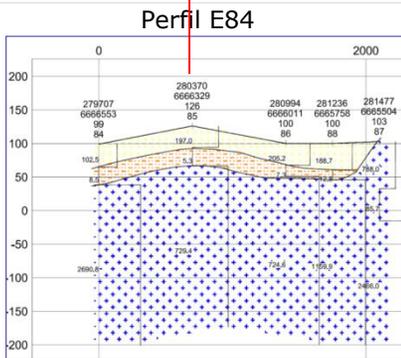
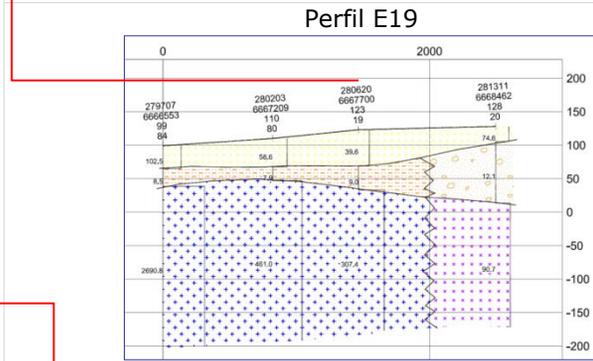
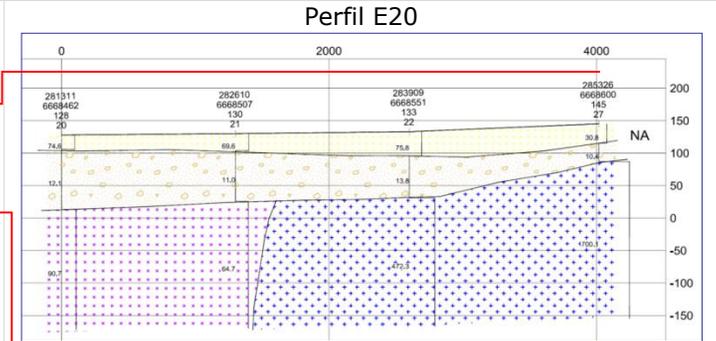
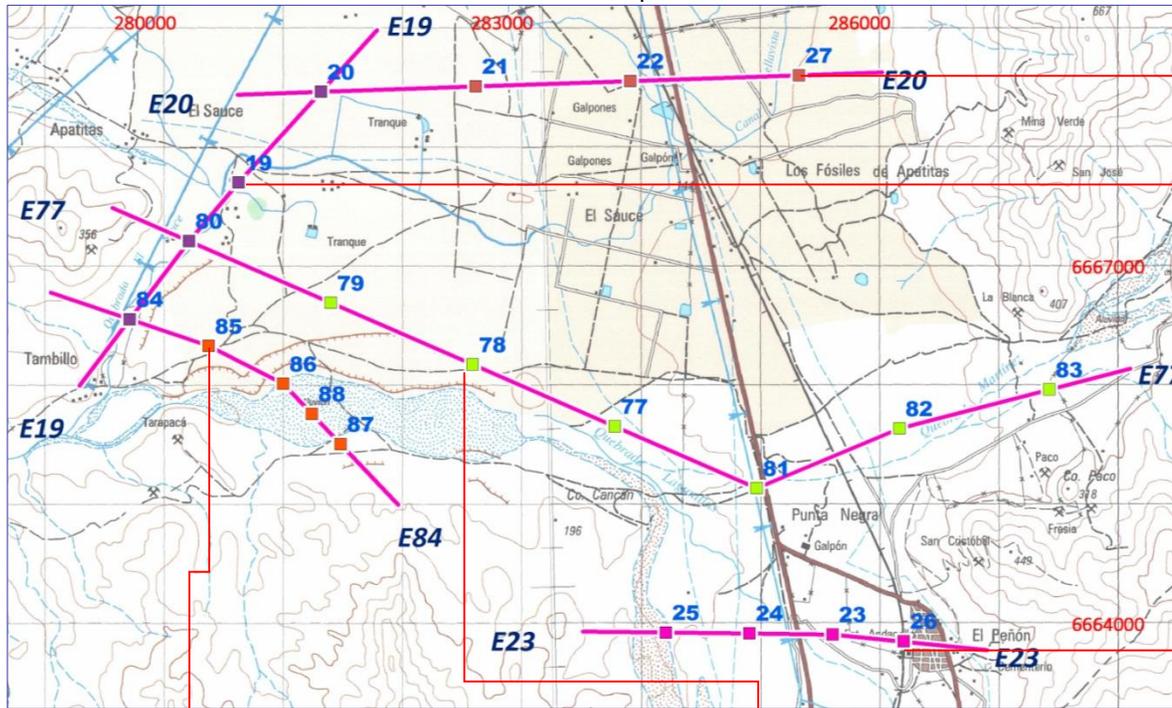


Figura 9.1-11. Perfiles E73 y E12. Zona central del Valle de Pan de Azúcar
Perfil E12

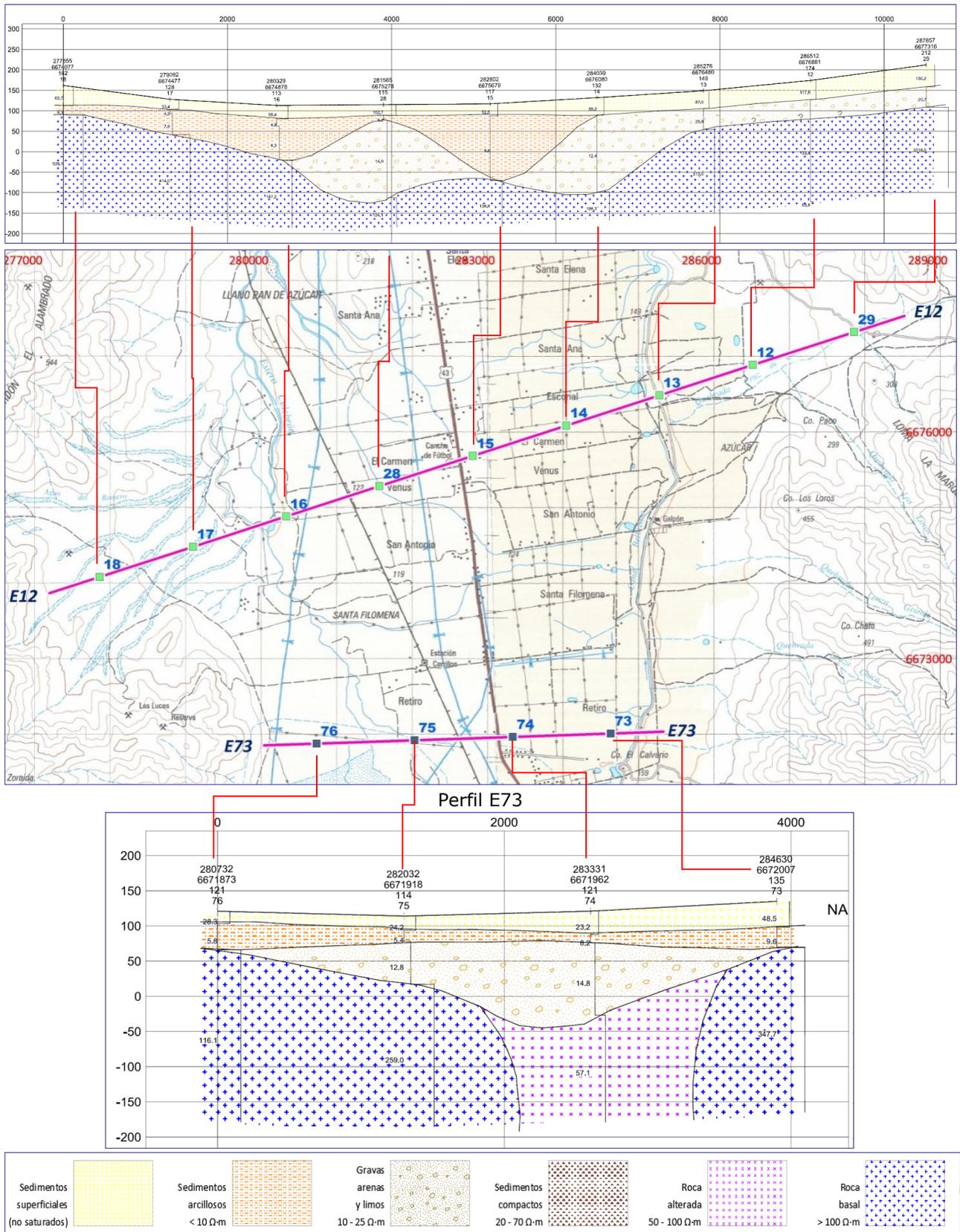
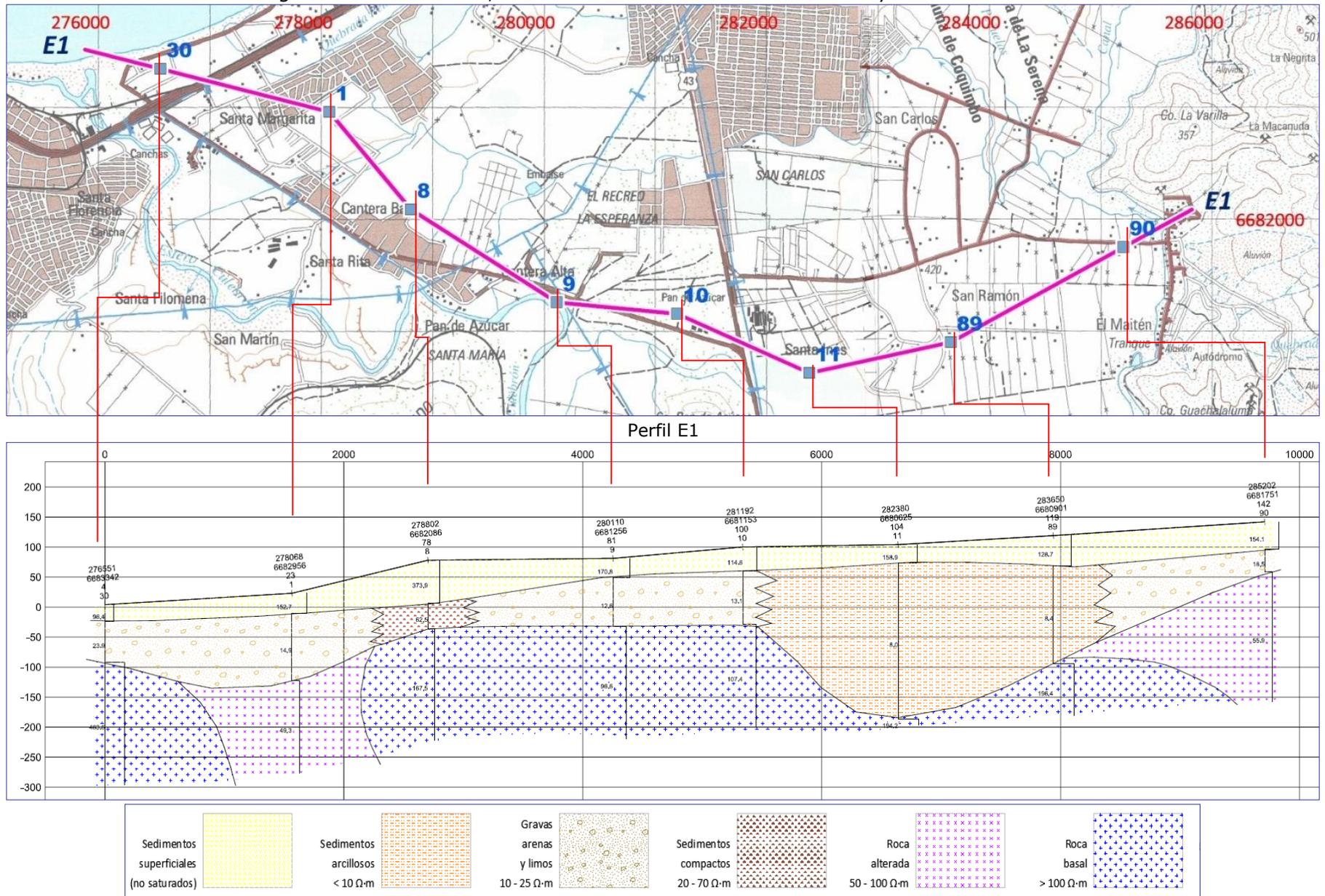


Figura 9.1-12. Perfil E1, Zona desembocadura estero Culebrón y Corazón de María



9.1.5.3 Parámetros elásticos

Se analizaron las propiedad de transmisibilidad del relleno, para ello se recurrió a los datos registrados en pruebas de bombeo realizadas en las captaciones que se ubican en el área de interés. Las pruebas de bombeo se obtuvieron de los expedientes de las solicitudes de derechos o directamente de los propietarios, en estudio anteriores realizados por este consultor.

Se revisaron los expedientes de las solicitudes de derechos de las captaciones de agua subterránea existentes en el área de interés. En los expedientes es posible encontrar datos registrados en pruebas de bombeo efectuadas en las captaciones, para las cuales se intenta obtener un derecho de explotación. Los datos de niveles medidos durante las pruebas de bombeo, permiten calcular la permeabilidad (o la transmisibilidad) del medio permeable que aporta a la captación donde se realiza la prueba de bombeo.

En el área de Pan de Azúcar, se usaron los datos de expedientes de 63 captaciones; 46 de ellas tienen pruebas de caudal variable y 44, de caudal constante. Agregando los datos de pruebas recopilados en estudios anteriores, se pudo contar con un total de 74 valores puntuales de transmisibilidad (y permeabilidad).

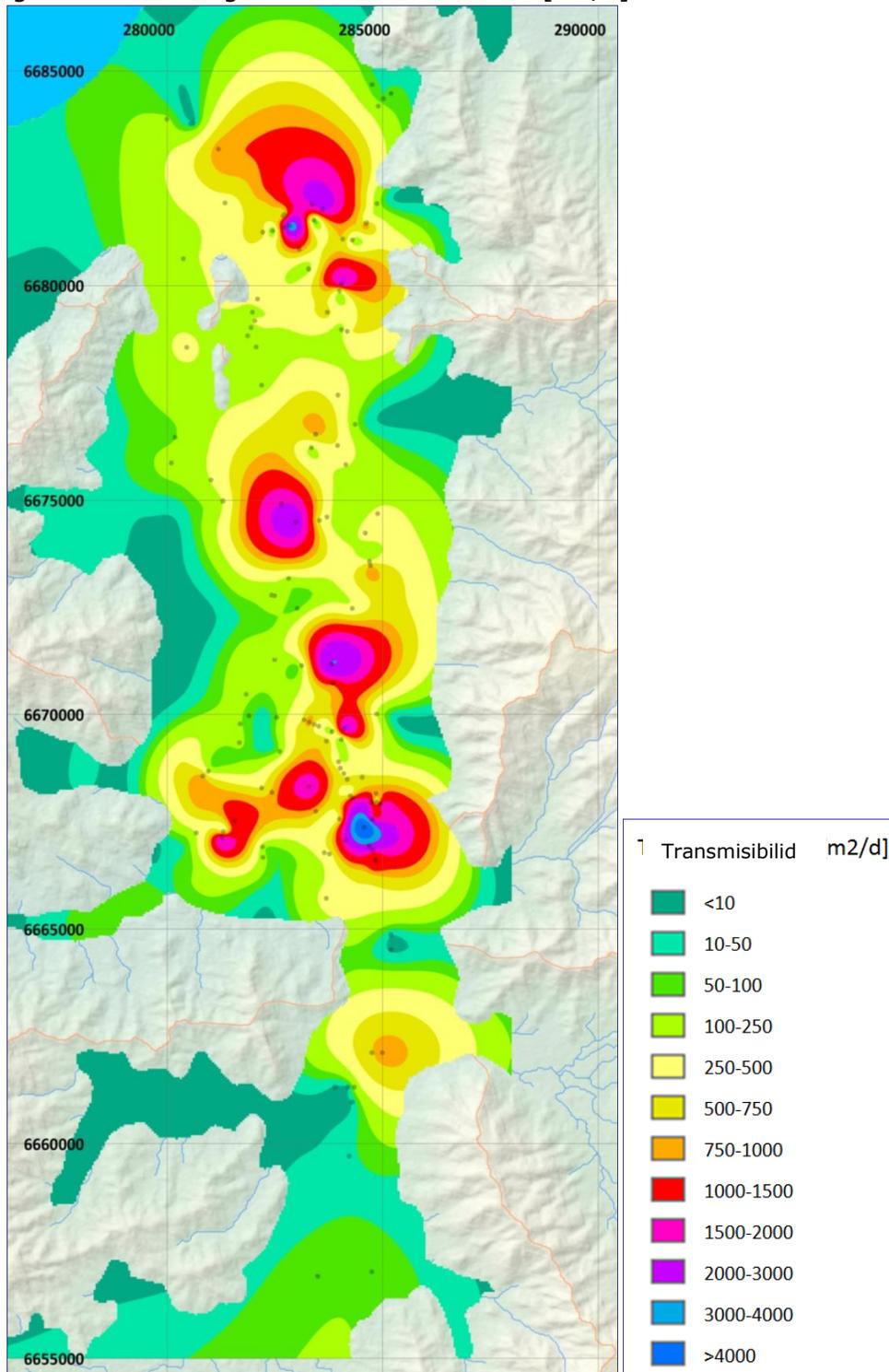
Para la estimación de los valores representativos de cada punto con información, se adoptó el siguiente criterio: en caso de contarse con ambas pruebas, se compararon los valores obtenidos con los datos de cada una; si los valores eran del mismo orden, se optó por el de caudal constante. Si las diferencias eran mayores (sobre el triple), se consideró más representativo el valor calculado con los datos de la prueba de caudal variable.

En la Figura 9.1-13 se presentan los valores de transmisibilidades calculados en función de los datos registrados en las pruebas de bombeo de captaciones ubicadas en el área de estudio.

Los productos digitales de este paso son:

- a) Cobertura de puntos con valores de transmisibilidad en m^2/d .
- b) Ráster con los valores de transmisibilidades en m^2/d (T).

Figura 9.1-13. Rangos de transmisibilidades [m²/d] en valle Pan de Azúcar



Nota: Las transmisibilidades son representativas de los primeros 110 m saturados, en los puntos donde el relleno excede dicha profundidad. En las áreas con espesores saturados menores, la transmisibilidad se calculó con los espesores obtenidos de la geofísica.

Los puntos en la figura corresponden a las captaciones de las que se obtuvieron datos de transmisibilidad usados para la generación de los rangos.

9.1.6 Captaciones de agua subterránea

En la Figura 9.1-14 se pueden apreciar las captaciones catastradas durante el primer semestre de 2014 en el área de interés.

Entre los datos recopilados en el catastro, se cuentan los niveles estáticos. Con esos datos y las elevaciones del fondo del estrato seco superficial, medido por los TEMs, se elaboraron las curvas isofreáticas representativas de ese período (primer semestre de 2014). En la Figura 9.1-15 se muestran las curvas isofreáticas trazadas.

Entre los productos digitales de este punto se cuenta una cobertura que incluye todos los puntos con datos de profundidad del nivel estático; ésta integra los niveles medidos en captaciones y la estimación del fondo del estrato superficial seco obtenido de los TEMs, que corresponde a la superficie freática (el shape de puntos es NEs.shp). Además, se adjuntó un archivo AutoCAD con las curvas isofreáticas y los textos de sus elevaciones.

Figura 9.1-14. Captaciones catastradas primer semestre de 2014

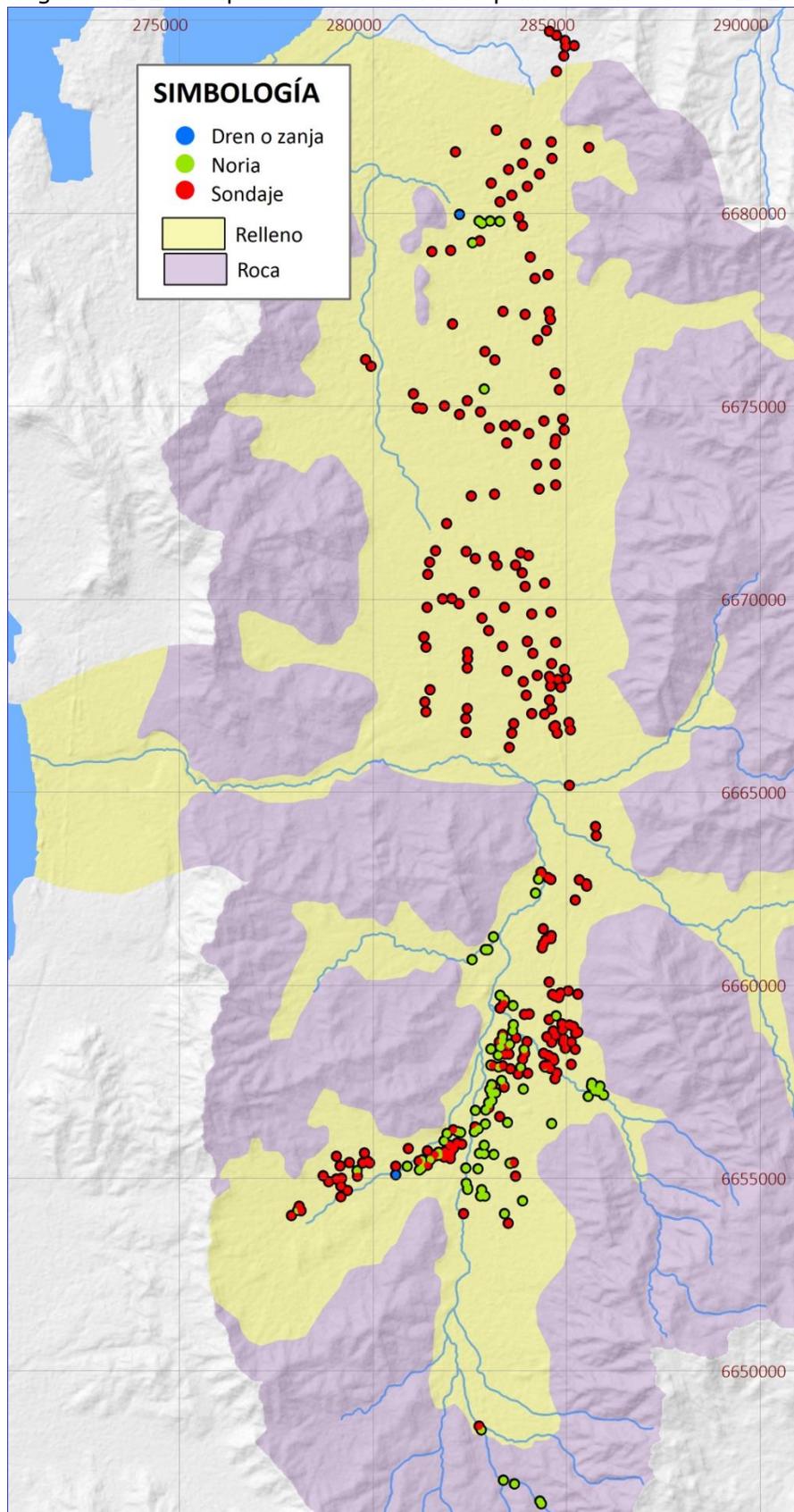
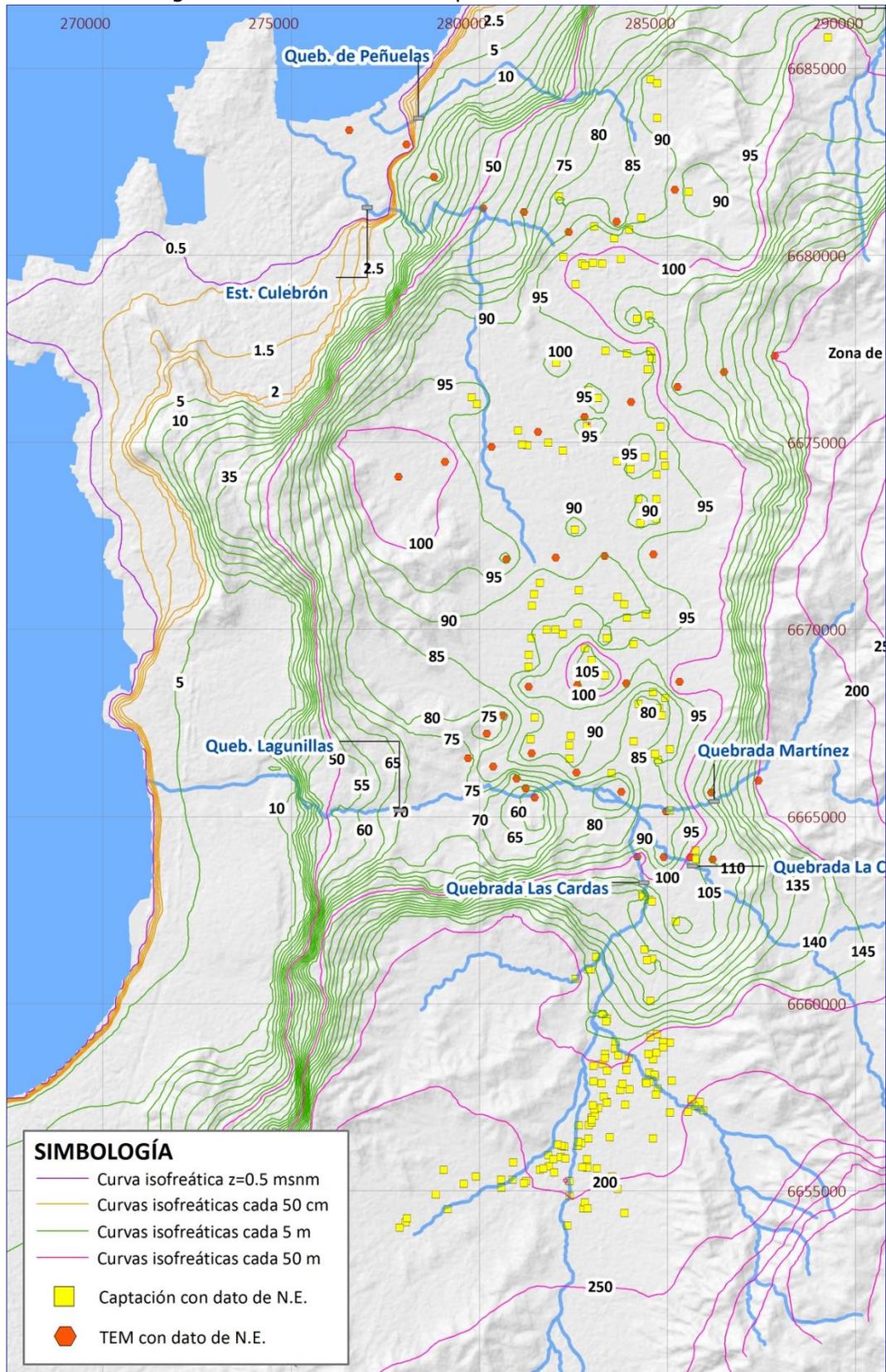


Figura 9.1-15. Isofreáticas primer semestre de 2014



9.1.7 Sectorización definitiva

Integrando los antecedentes hidrogeológicos con la sectorización preliminar, se llegó a la sectorización acuífera definitiva que consiste en 5 sectores (ver Figura 9.1-16). En la Tabla 9.1-1 se muestra la organización de los 5 sectores acuíferos definidos. Éstos, a su vez, fueron agrupados en 3 macro-sectores y subdivididos en 10 sub-sectores. A continuación se describe el proceso efectuado para llegar a la sectorización definitiva.

Tabla 9.1-1. Sectores acuíferos

<i>Macro sectores</i>	<i>Sectores</i>	<i>Subsectores</i>
Las Cardas	Las Cardas	Las Cardas-Relleno
		Las Cardas-Roca
Lagunillas	Lagunillas	Lagunillas-Relleno
		Lagunillas-Roca
	Lagunillas costa	Lagunillas costa-Relleno
		Lagunillas costa-Roca
Culebrón	Culebrón	Culebrón-Relleno
		Culebrón-Roca
	Culebrón-costa	Culebrón-costa-Relleno
		Culebrón-costa-Roca

Tras la revisión de los datos hidrogeológicos se dividió el área de interés en 3 macro-sectores:

En la zona sur, aguas arriba de la quebrada Lagunillas, se definió el macro-sector Las Cardas. Según la geofísica, en esa zona el relleno saturado tiene espesores saturados de a lo más 35 m y las transmisibilidades son inferiores a 5 m²/d.

Inmediatamente aguas abajo del sector Las Cardas, se definió el macro-sector Lagunillas. Su límite norte se trazó coincidente con la divisoria de aguas subterráneas, que se encuentra actualmente (primer semestre de 2014) más al norte que la divisoria de aguas superficiales. El flujo en este sector es hacia el sur, sur-oeste y oeste.

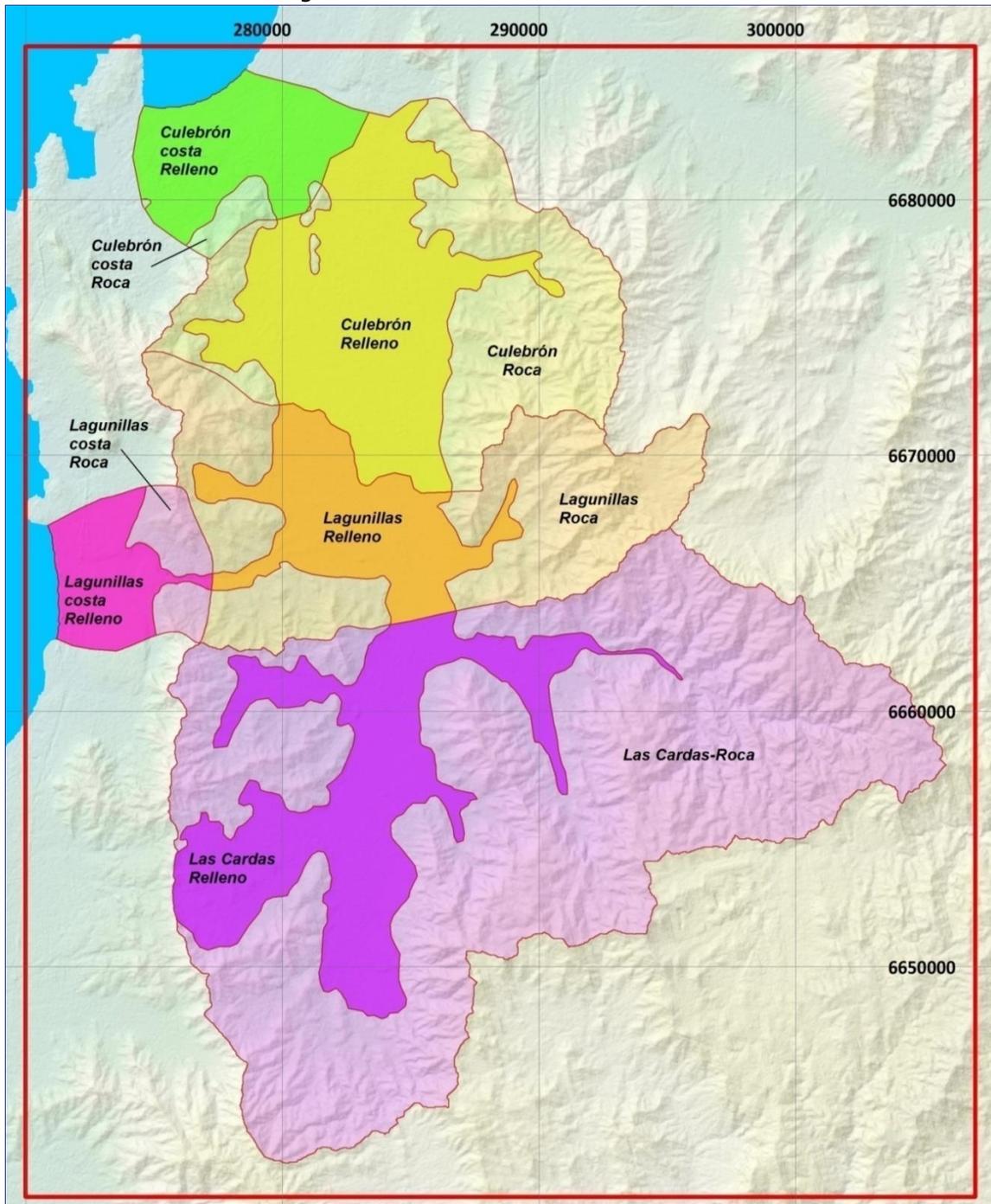
El tercer macro-sector corresponde a la cuenca hidrogeológica del estero Culebrón. En esta zona el flujo es hacia el norte y nor-oeste.

Posteriormente, los macro-sectores Culebrón y Lagunillas se dividieron según sus vertientes costeras, obteniéndose los 5 sectores acuíferos definitivos, antes mencionados.

Cada sector acuífero fue diferenciado según la presencia de relleno sedimentario; de esa forma se llegó a los 10 subsectores listados en la Tabla 9.1-1.

El sub-sector Las Cardas-Relleno presenta cierta homogeneidad y un potencial hidrogeológico limitado. Como se puede observar en el perfil TEM E23 de la Figura 9.1-10, el nivel freático se encuentra a 60 m de profundidad y el espesor saturado en la zona con materiales de granulometría gruesa es de tan solo 32 m.

Figura 9.1-16. Sectorización definitiva



El sub-sector Lagunillas-Relleno tiene un volumen sedimentario importante, con espesores saturados de arenas y gravas, cercanos a los 100 m.

El sub-sector Culebrón-Relleno presenta las mejores condiciones hidrogeológicas del área estudiada. El relleno sedimentario alcanza una profundidad máxima cercana a los 350 m. Además, gran parte de ese sector es regado por el canal Bellavista, por lo tanto, existe una recarga por excedentes de riego. Debido a la disponibilidad hídrica superficial, las captaciones subterráneas constituyen un complemento del riego superficial y no son usadas de forma

continua. Por otro lado, en Lagunillas el escenario es diferente debido a que existe un preponderante uso potable (abastecimiento de Andacollo, Tongoy, Guanaqueros, Las Tacas, etc.).

Los criterios hidrogeológicos para la sectorización definitiva son el sentido del flujo subterráneo, los valores de transmisibilidad y los espesores de relleno.

El producto final de esta etapa es una cobertura que incluye los polígonos de cada sub-sector acuífero definitivo (Sectores_definitivos.shp).

9.1.8 Vínculos

9.1.8.1 Flujos pasantes

Los sub-sectores definitivos definidos, están relacionados por los flujos de entrada y de salida, superficiales y subterráneos. En la Figura 9.1-17 se muestran los sentidos del flujo que relacionan cada sub-sector con los que se ubican aguas abajo de éstos.

La divisoria subterránea entre los sectores Culebrón-relleno y Lagunillas-relleno se muestra en la Figura 9.1-18, con un perfil longitudinal y su correspondencia en planta. Los conos de depresiones detectados actualmente (primer semestre de 2014), muestran que existe una divisoria subterránea que depende del bombeo en ambos sectores (Lagunillas y Culebrón).

En la misma figura es posible apreciar que la divisoria subterránea se ubica más al norte que la divisoria superficial.

Ésa, es la situación actual, en cuanto a la delimitación subterránea; sin embargo, dicha divisoria en el futuro podría desplazarse, dependiendo de los niveles de extracción en los sectores Culebrón y Lagunillas.

Del análisis efectuado, es posible deducir que sería necesario evaluar las divisorias dinámicas, al decidir acerca de otorgamiento de derechos. Esto debido a que la divisoria depende de los niveles de extracción que, a su vez, podrían incrementarse (o reducirse) en la medida que cuenten con derechos otorgados que se ejerzan.

Los productos de este paso son las figuras mencionadas en formato de imagen (jpg).

9.1.8.2 Calidad físico-química del agua

En el área de estudio existen datos de calidad físico-química, sin embargo éstos no son determinantes en la sectorización.

9.1.8.3 Zonas sensibles o protegidas

En el valle de Pan de Azúcar no existen áreas protegidas o con restricciones de tipo ambiental.

Figura 9.1-17. Vínculos de flujo entre sub-sectores

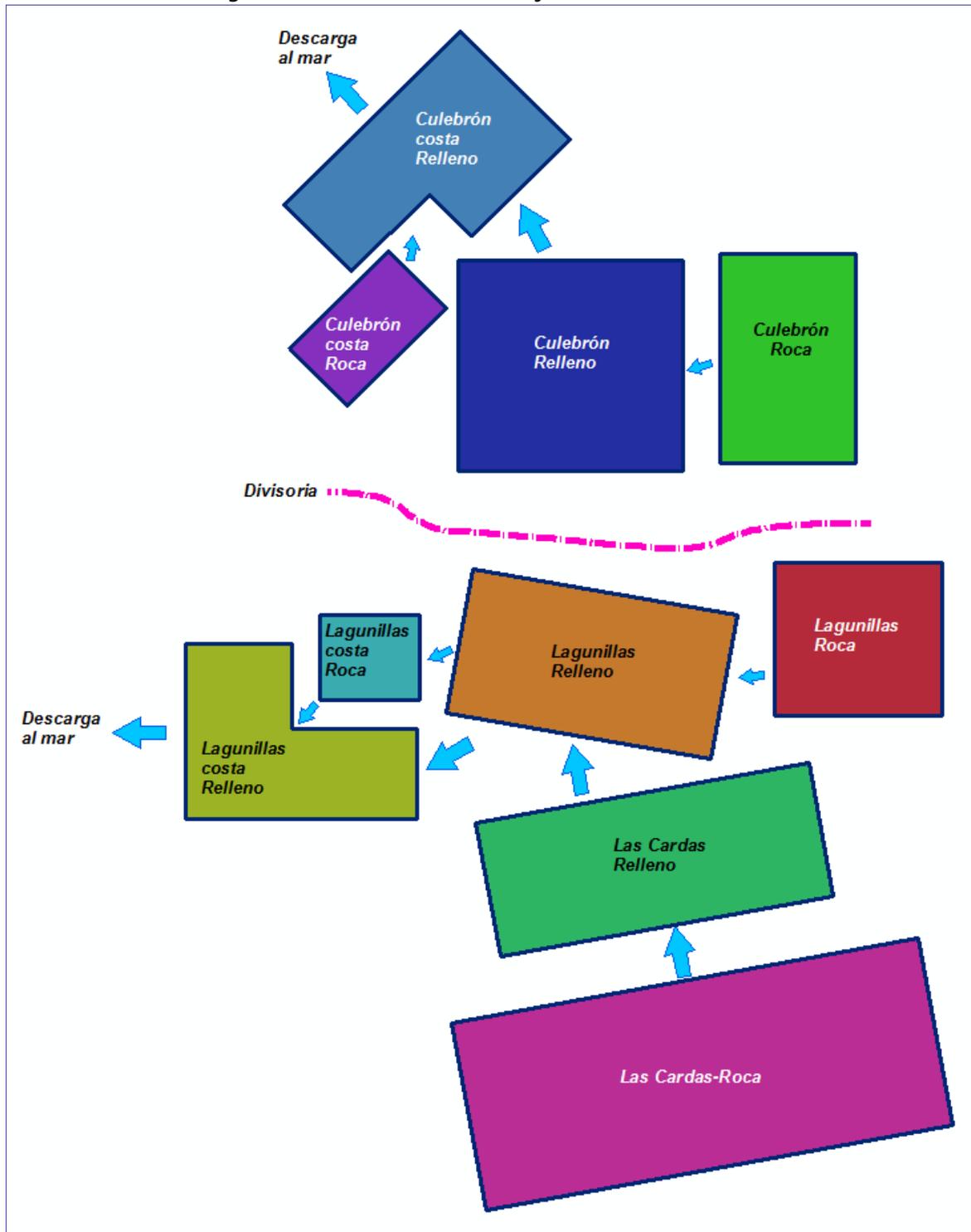
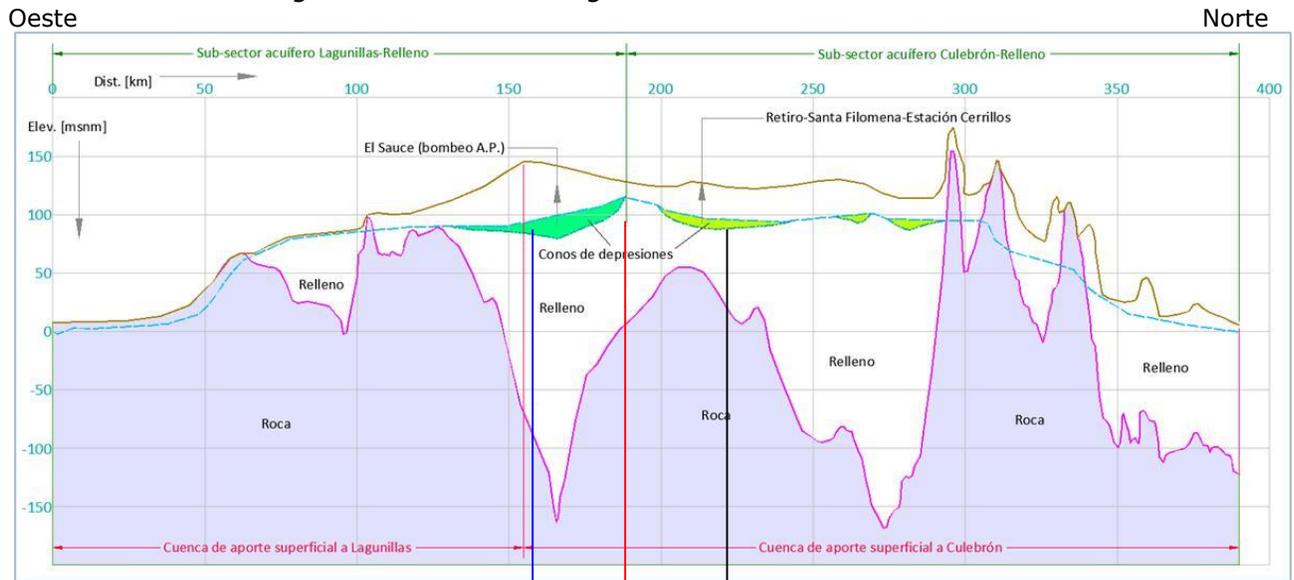
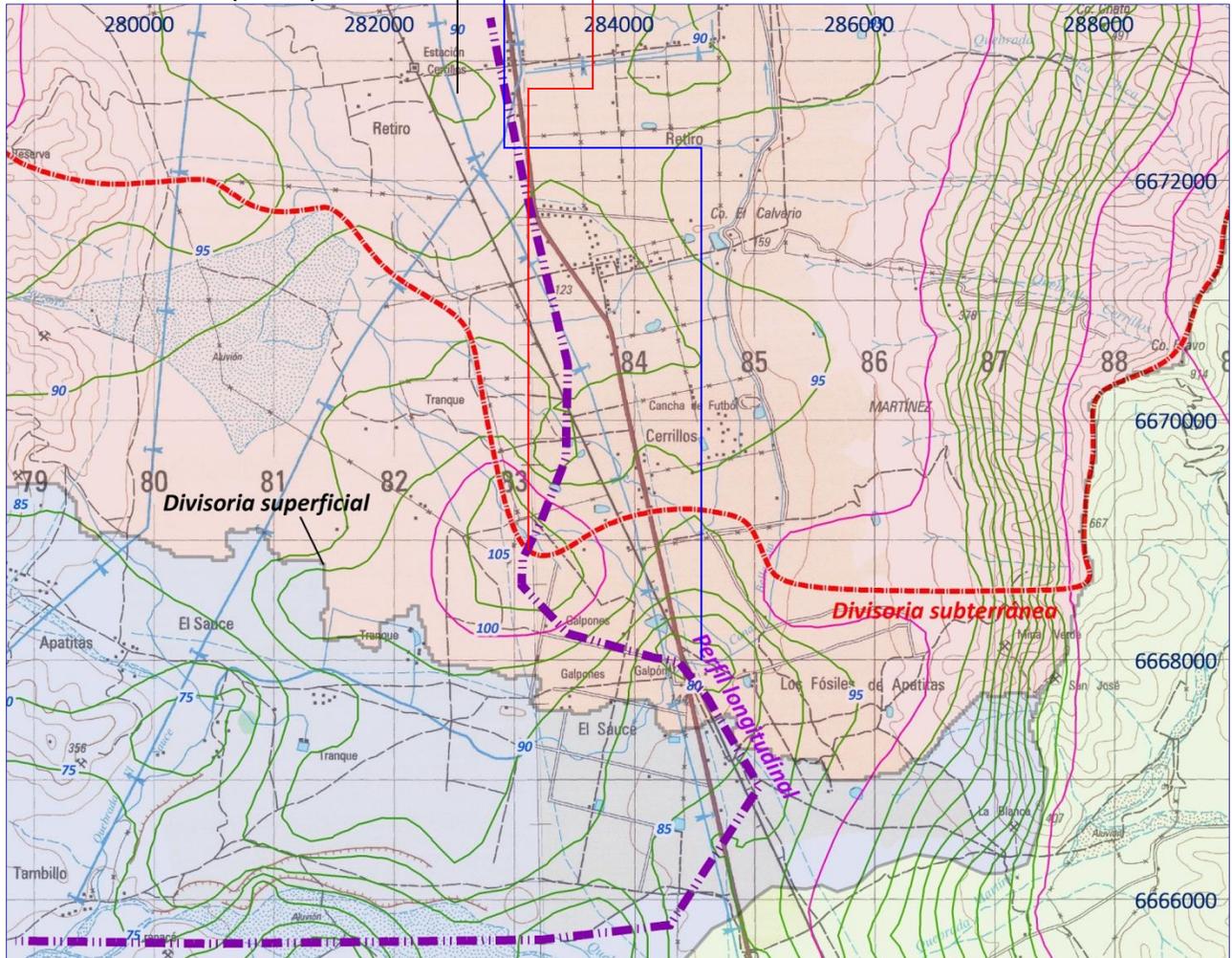


Figura 9.1-18. Perfil longitudinal de divisoria subterránea



Curvas isofreáticas (msnm)



9.1.9 Proyecto SIG y respaldo digital SIG Pan de Azúcar

Las coberturas (shapes) y planos (*.dwg) se encuentran en la carpeta "Respaldo_digital". El archivo "PDA.mxd", incluido en la carpeta "Respaldo_digital", contiene referencias relativas a las coberturas y planos, que están en la carpeta "PDA", la que a su vez, se encuentra en la misma carpeta "Respaldo_digital".

Por consiguiente, para acceder a la información, se debe hacer lo siguiente:

a) Copiar la carpeta "Respaldo_digital" en el disco duro de un computador que tenga instalado ARCGIS v9.3 o superior.

b) Desde el interior de la carpeta "Respaldo_digital", seleccionar "PDA.mxd" y hacer doble click (abrir). Se desplegará el proyecto ARGIS con toda la información asociada a la sectorización del valle de Pan de Azúcar.

Se usó ARCGIS v10.1 para crear el archivo mxd, no obstante, el proyecto "PDA.mxd", se generó en el formato ARCGIS v9.3, para permitir su acceso en las versiones 9.3 o superiores.

La carpeta "PDA" contiene la siguiente información:

Paso		Productos digitales
1	Identificación de Zona de Estudio	Archivo AutoCAD que incluye el rectángulo que define el área de estudio y los textos con las coordenadas de los vértices del rectángulo (ze.dwg).
2	Base topográfica	Ráster ASTER del área de interés (aster).
3	Red de drenaje	a) Delimitación de las cuencas (subcuencas.shp) b) Red de drenaje (drenaje.shp).
4	Sectorización preliminar	El producto final de este paso es una cobertura que incluye los polígonos de cada sector acuífero preliminar (sectores_preliminares.shp). Además se agregó un archivo AutoCAD con los nombres adoptados para cada sector (sectores_preliminares.dwg).
5	Hidrogeología	
5.1	Geología	Cobertura de polígonos que permite diferenciar las áreas de relleno de las de roca, incluye las unidades geológicas (Contacto roca-relleno: CRR.shp).
5.2	Formaciones acuíferas	a) Cobertura de puntos con espesores de relleno; incluye espesores obtenidos de gravimetría y TEMs (prof_rell.shp).
		b) Cobertura de puntos con los TEMs de 2014.
		c) Plano AutoCAD con las líneas que definen los perfiles TEM de 2014
		d) Imágenes con los perfiles TEM. Las imágenes se han incluido en un documento pdf (PDA_Imágenes.pdf).
5.3	Parámetros elásticos	a) Cobertura de puntos con valores de transmisibilidad en m ² /d. b) Ráster con los valores de transmisibilidad en m ² /d (T).
6	Captaciones de agua subterránea	Cobertura con los puntos con datos de profundidad del nivel estático; ésta integra los niveles medidos en captaciones y la estimación del fondo del estrato superficial seco obtenido de los TEMs, que corresponde a la superficie freática (el shape de puntos es NEs.shp).
		b) Archivo AutoCAD con las curvas isofreáticas y los textos de sus elevaciones.
7	Sectorización definitiva	Cobertura que incluye los polígonos de cada sub-sector acuífero definitivo (Sectores_definitivos.shp).
8	Vínculos	Diagrama de flujo en formato de imagen (jpg). Las imágenes se han incluido en un documento pdf (PDA_Imágenes.pdf).

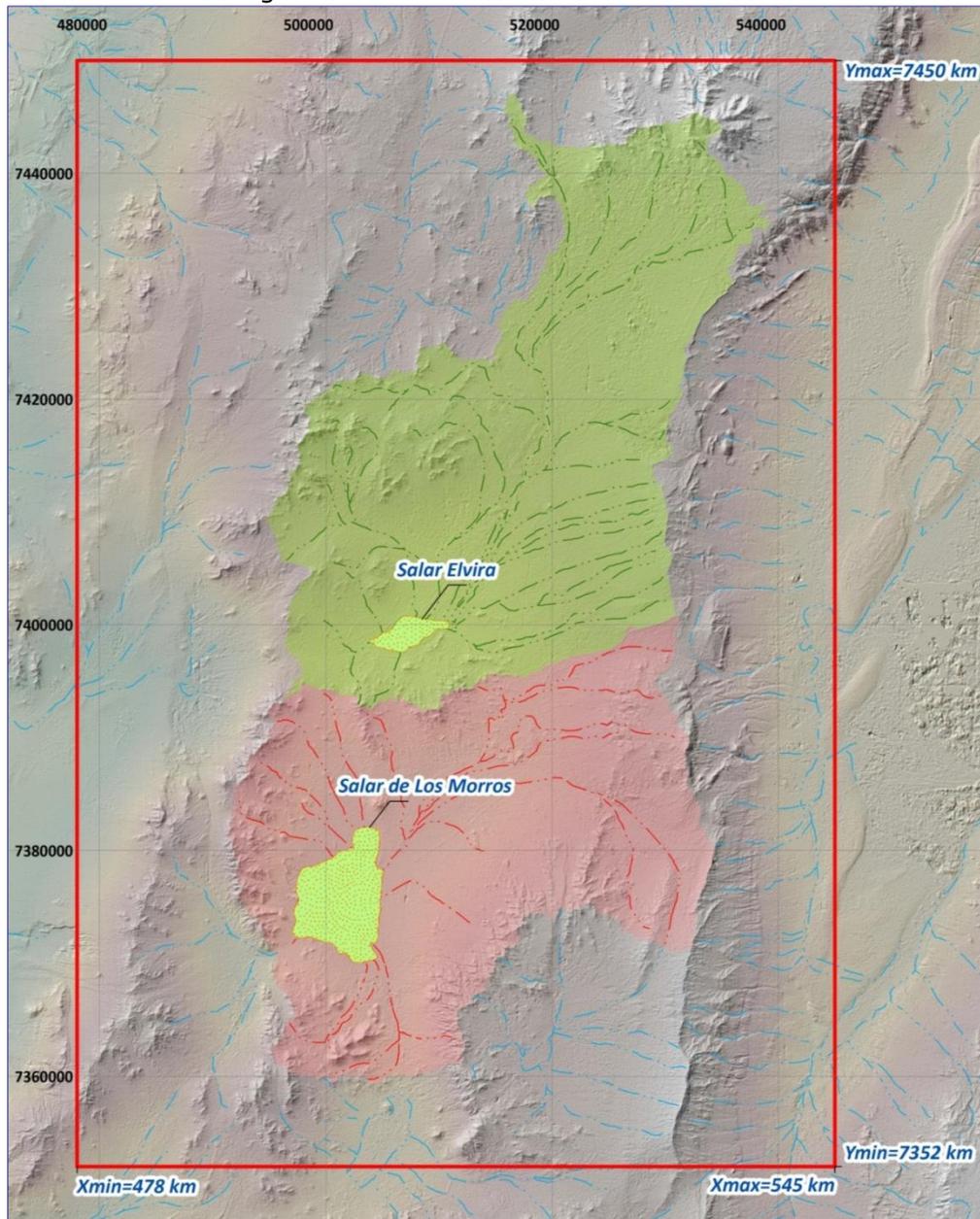
9.2 Zona 2: Sector Salares Elvira y Los Morros (Cuenca Gaby – Los Morros)

Las cuencas endorreicas asociadas a los salares Elvira y Los Morros, se ubican al oeste del salar de Atacama, en la II Región.

9.2.1 Identificación de Zona de Estudio

Se definió un rectángulo envolvente del área de interés. En la Figura 9.2-1 se muestran las coordenadas de sus vértices. El producto digital de este paso es un archivo AutoCAD que incluye el rectángulo y los textos de la figura indicada.

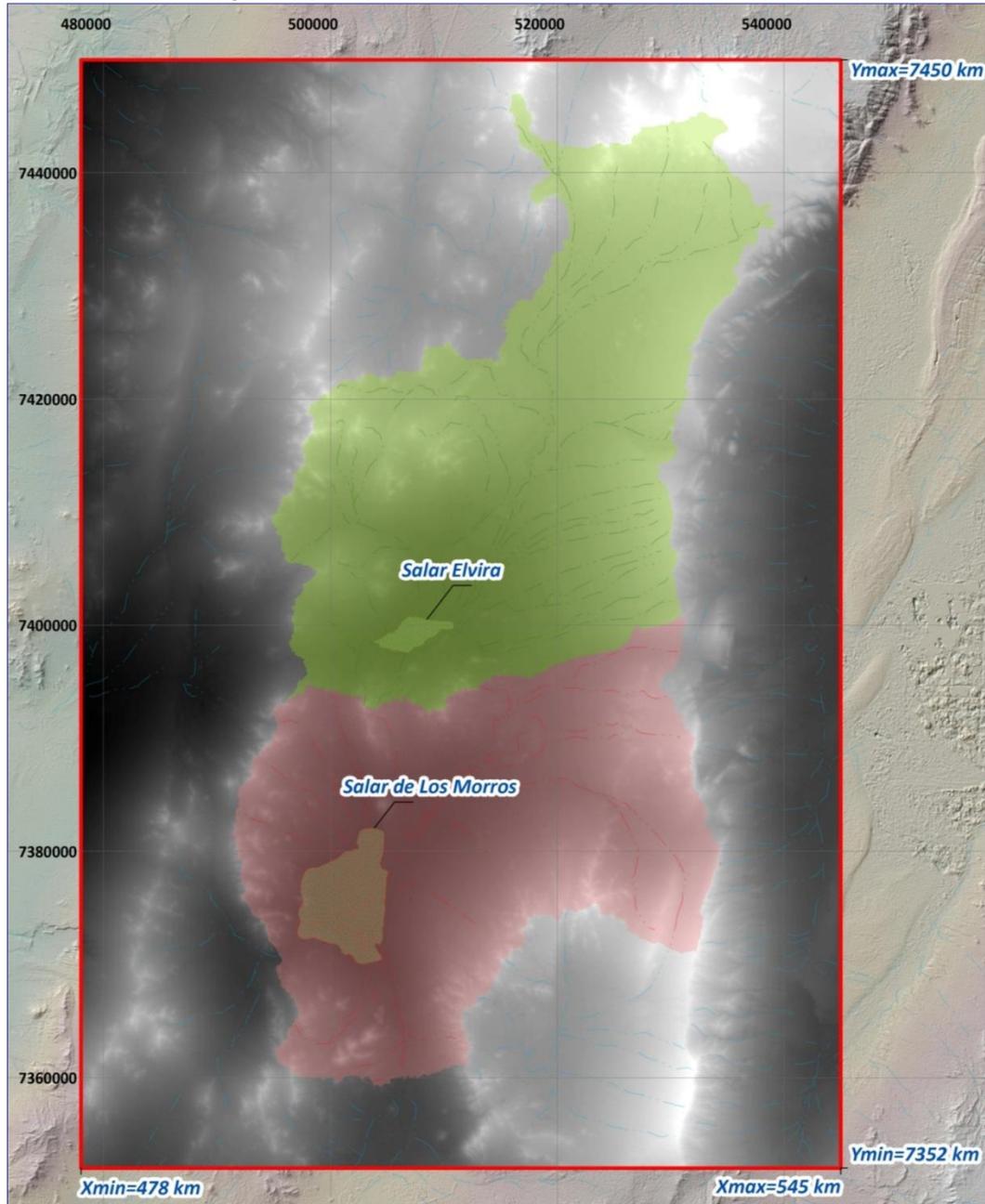
Figura 9.2-1. Límites de zona de interés



9.2.2 Base topográfica

Se descargó la grilla ASTER¹¹ y se cortó el ráster¹² según el rectángulo que envuelve al área de interés (ver Figura 9.2-2). El producto digital de este paso es el ráster ASTER mencionado.

Figura 9.2-2. Ráster ASTER de zona de interés



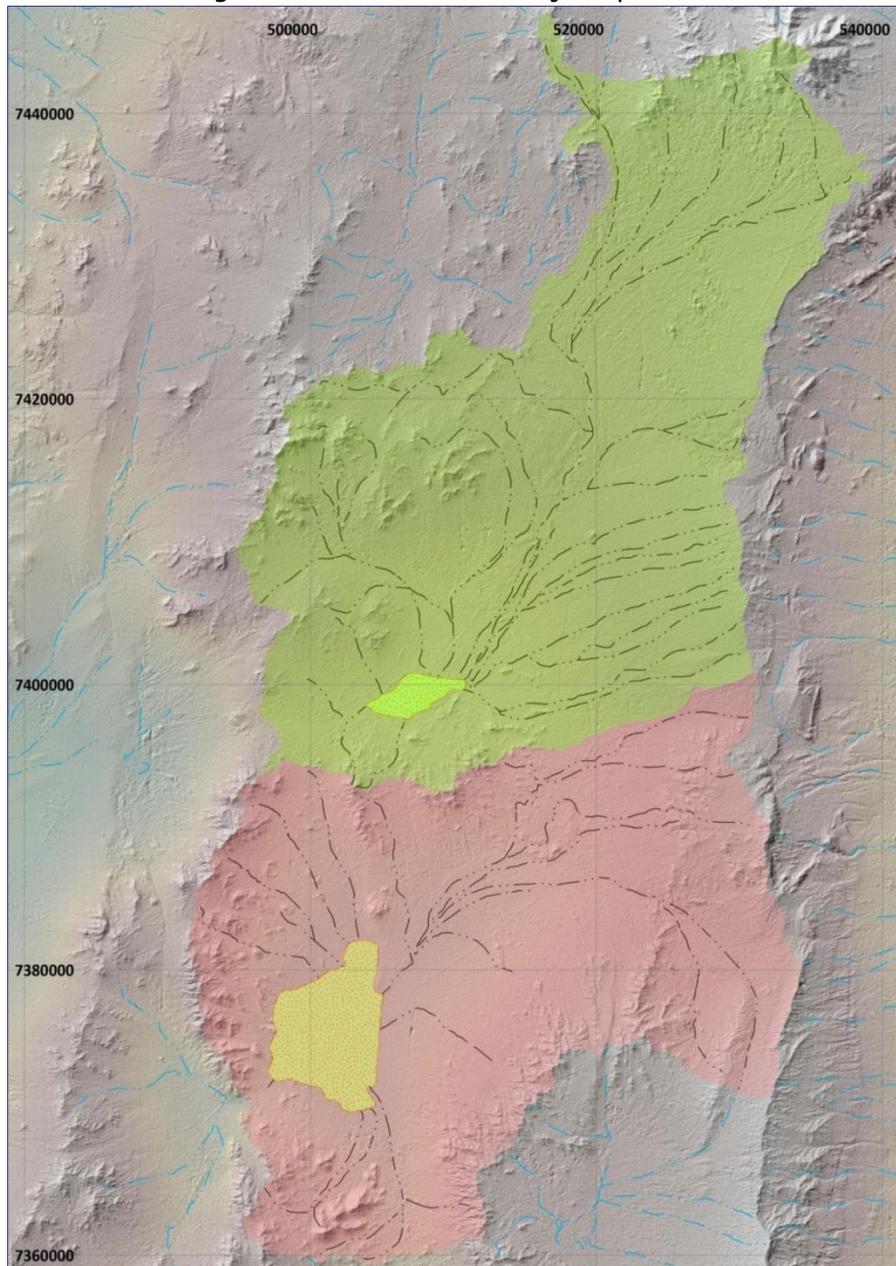
¹¹ La grilla ASTER (AdvancedSpaceborneThermalEmission and ReflectionRadiometer) corresponde a un reticulado de 29.11.29.11 m, con un datos de elevación en cada centro de celda. Se puede descargar en: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>

¹² La grilla ASTER es un ráster.

9.2.3 Red de drenaje

En el área de estudio, el terreno que circunda los salares es casi plano (pendiente muy baja), por lo que la red de drenaje que se obtiene en función de la grilla ASTER, no representa adecuadamente las vías de flujo superficial que descargan en los salares. Por ello, se optó por usar los cauces de la cartografía IGM. Para la delimitación de las cuencas se usó la grilla ASTER, trazando las divisorias de aguas con el programa WMS. En la Figura 9.2-3 se muestra la red de drenaje usada. El producto digital consiste en 2 coberturas (shapes); una es la delimitación de las cuencas (subcuencas.shp) y la otra corresponde a la red de drenaje (drenaje.shp).

Figura 9.2-3. Red de drenaje superficial



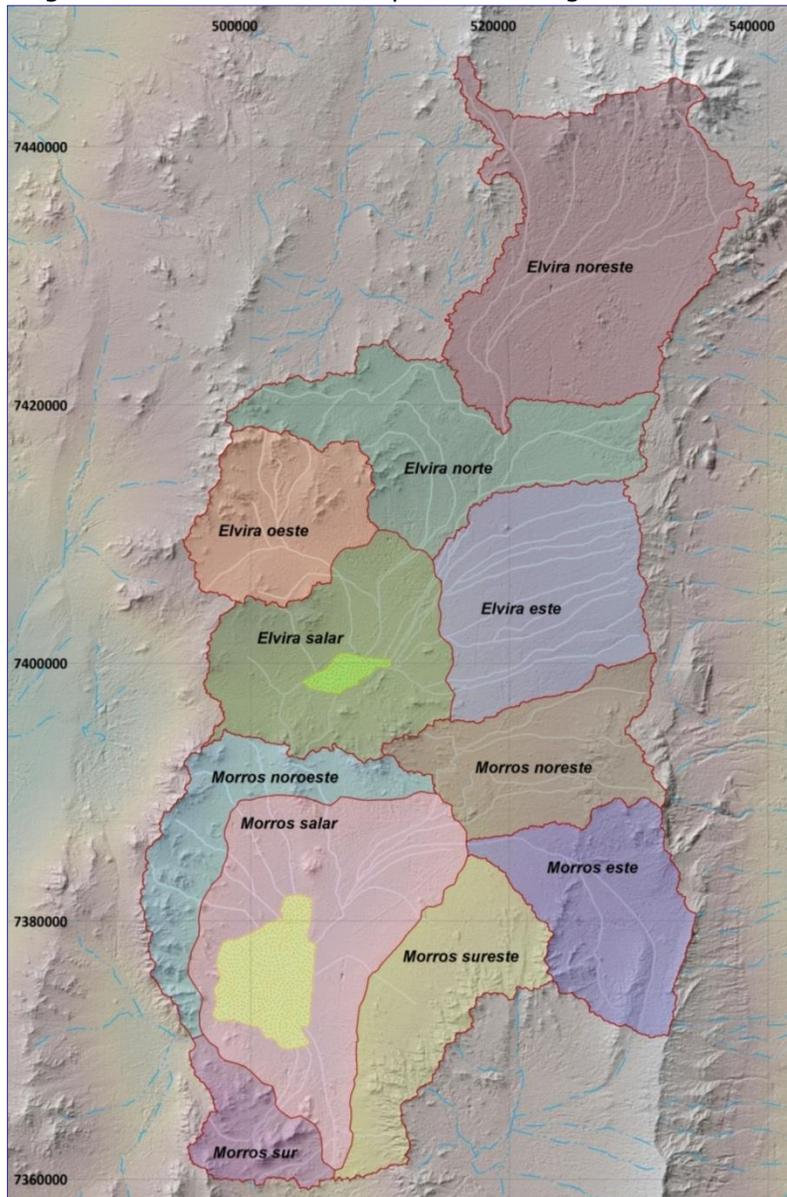
9.2.4 Sectorización preliminar

En la Figura 9.2-4 se muestra la sectorización preliminar, realizada en base a la red de drenaje obtenida según el procedimiento explicado en el punto 9.2.3.

Se sectorizó según los cauces principales, pero dada la configuración radial de los drenajes, se incluyeron los sectores donde se ubican los salares, hacia los cuales convergen los restantes.

El producto final de este paso es una cobertura que incluye los polígonos de cada sector acuífero preliminar (sectores_preliminares.shp). Además, se agregó un archivo AutoCAD con los nombres adoptados para cada sector (sectores_preliminares.dwg).

Figura 9.2-4. Sectorización preliminar según subcuencas



9.2.5 Hidrogeología

En este paso se analizaron aspectos hidrogeológicos del área de estudio; éstos incluyen la geología de superficie, formaciones acuíferas y calidad físico-química del agua.

9.2.5.1 Geología

En la Figura 9.2-5 se muestra la geología regional del área de interés obtenida del Mapa Geológico de Chile. En esa figura se han identificado y descrito las unidades más relevantes desde el punto de vista hidrogeológico. El producto de este paso es una cobertura que incluye las unidades geológicas (geología.shp).

9.2.5.2 Formaciones acuíferas

Se han identificado las formaciones acuíferas, observando los perfiles TEM y las estratigrafías de los pozos construidos.

En términos generales se aprecia que el área de estudio alberga volúmenes de agua acumulados, que poseen una recarga superficial exigua. Lo anterior se puede confirmar al observar columnas estratigráficas con medios totalmente secos (ver Figura 9.2-19, 136 m secos) o niveles freáticos en zonas laterales, muy profundos (ver Figura 9.2-24, NE=236 m).

Otro aspecto a destacar es la calidad de las aguas (ver siguiente punto); en las zonas bajas, donde el nivel freático se encuentra cercano a la superficie, las aguas que se extraigan, probablemente serán saladas, debido a los procesos evaporativos que se han producido en los salares Elvira y de Los Morros.

Por consiguiente, en el área estudiada, es posible extraer caudales máximos del orden de 60 l/s, obtenidos del almacenamiento, debido a la limitada recarga (sector Elvira noreste). Un escenario semejante se aprecia en los sectores Elvira salar y Morros salar, pero agregando el factor en contra de la mayor salinidad de las aguas.

El sector Elvira noreste ha sido explorado con perforaciones, gravimetría y sondeos TEM. En la Figura 9.2-7 se muestra la ubicación de los perfiles TEM incluidos en el expediente NE-0203-1526) y en los perfiles de la Figura 9.2-9 a la Figura 9.2-12, se puede apreciar los medios detectados. Se observa que el medio interpretado "acuífero de buena calidad" podría prolongarse hacia la cuenca vecina (al poniente del sector Elvira noreste, cuenca de Laguna Seca). En la Figura 9.2-7 se ha trazado el relleno grueso saturado detectado por la geofísica y las perforaciones. Dicha continuidad subterránea podría afectar la delimitación del sector, dependiendo de lo que ocurra en el futuro con los bombeos en la cuenca de laguna Seca y Elvira noreste.

El medio detectado corresponde a un relleno sedimentario depositado sobre rocas de la formación Purilactis (Figura 9.2-17 y Figura 9.2-18).

El relleno saturado fue detectado por el pozo Arma-2 (ver columna estratigráfica en Figura 9.2-20 y Figura 9.2-21). Como se mencionó anteriormente, es probable que las zonas más altas del sector presenten medios rocosos saturados, pero con niveles estáticos a grandes profundidades, como se puede comprobar el pozo MAE-3 (ver Figura 9.2-24 y Figura 9.2-25), donde el nivel estático se encuentra a 267 m de profundidad. La zona más baja del sector Elvira noreste presenta un relleno sedimentario saturado, con niveles estáticos en torno a los 40 m de profundidad (pozo Arma 3, ver Figura 9.2-22). En esa área se concentran las captaciones con derechos de extracción más altos (ver caudales en Figura 9.2-5).

El sector Elvira norte, ubicado inmediatamente al sur del sector Elvira noreste, ha sido poco explorado. El perfil TEM del expediente NE-0203-1982 (ver Figura 9.2-13), revela un estrato volcánico o sedimentario sobre un basamento cercano a la superficie (TEMs 1 a 5 en Figura 9.2-13).

Según lo analizado previamente, la delimitación preliminar de los sectores Elvira noreste y Elvira norte es consistente con la información hidrogeológica disponible, por lo tanto se puede adoptar como definitiva.

Al observar los perfiles TEM del expediente NE-0203-2622 (Figura 9.2-14, Figura 9.2-15 y Figura 9.2-16), se puede distinguir una zona saturada identificada como sedimentos finos arcillosos o depósitos salinos. Dada la proximidad del salar Elvira, es probable que efectivamente corresponda a depósitos salinos. La extensión de dicha capa y los bloques de basamento que circundan lateralmente el relleno, confirman subterráneamente la delimitación preliminar entre los sectores Elvira oeste y Elvira salar.

El sector Elvira oeste no ha sido explorado. Según lo analizado más norte, es podría presentar niveles freáticos profundos, con una configuración estratigráfica semejante a la detectada en el pozo MAE-3 (Figura 9.2-24), ubicado en el sector Elvira este.

En la cuenca del salar de Los Morros no se cuenta con antecedentes de geofísica. Todas las perforaciones se concentran en el sector Morros salar. Los pozos LMA y RHE-99-5 (ver Figura 9.2-26, Figura 9.2-27, Figura 9.2-28, Figura 9.2-29 y Figura 9.2-30), muestran una configuración estratigráfica homogénea con un relleno sedimentario grueso sobre capas de materiales más finos y bajo éstas, rocas andesitas. Por lo tanto, los antecedentes hidrogeológicos disponibles no contradicen la sectorización preliminar.

Los productos digitales de este paso son:

- a) La cobertura de sondajes perforados (Perforaciones.shp), que incluye los sondajes construidos para extracción de agua subterránea y aquellos que se usan para monitoreo.
- b) Las coberturas de estaciones gravimétricas y TEMs en el área de estudio (grav.shp y tems.shp).
- c) Las imágenes con los perfiles gravimétricos, perfiles TEM y columnas estratigráficas incluidas en el presente informe. Las imágenes se han incluido en un documento pdf (Imágenes.pdf).

9.2.6 Captaciones de agua subterránea

En la Figura 9.2-6 se pueden apreciar las captaciones existentes en el área de estudio.

El producto de este paso es la cobertura de captaciones correspondiente al listado de derechos que forma parte de la cobertura de sondajes perforados (Perforaciones.shp), listada anteriormente.

Figura 9.2-5. Geología

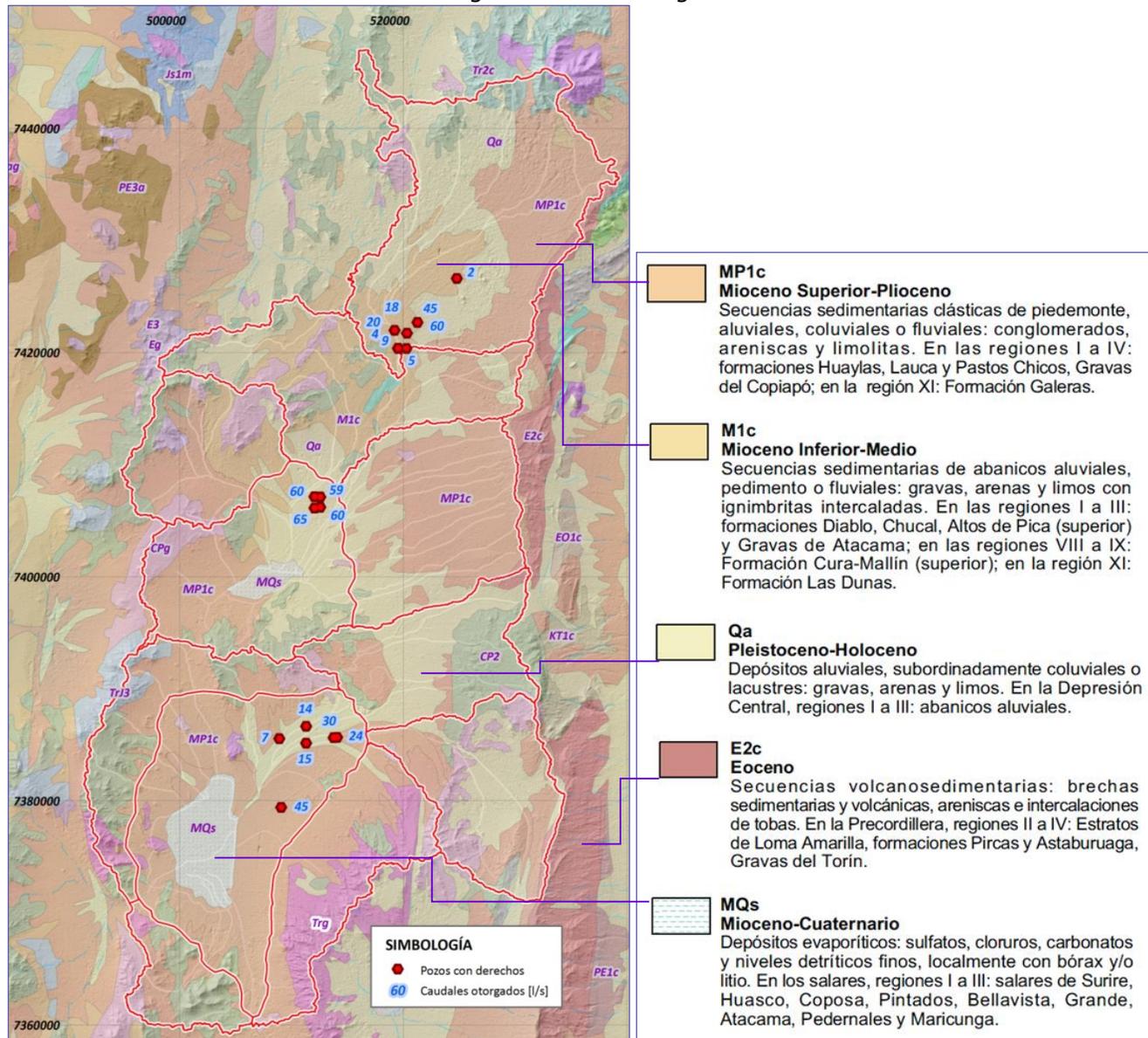
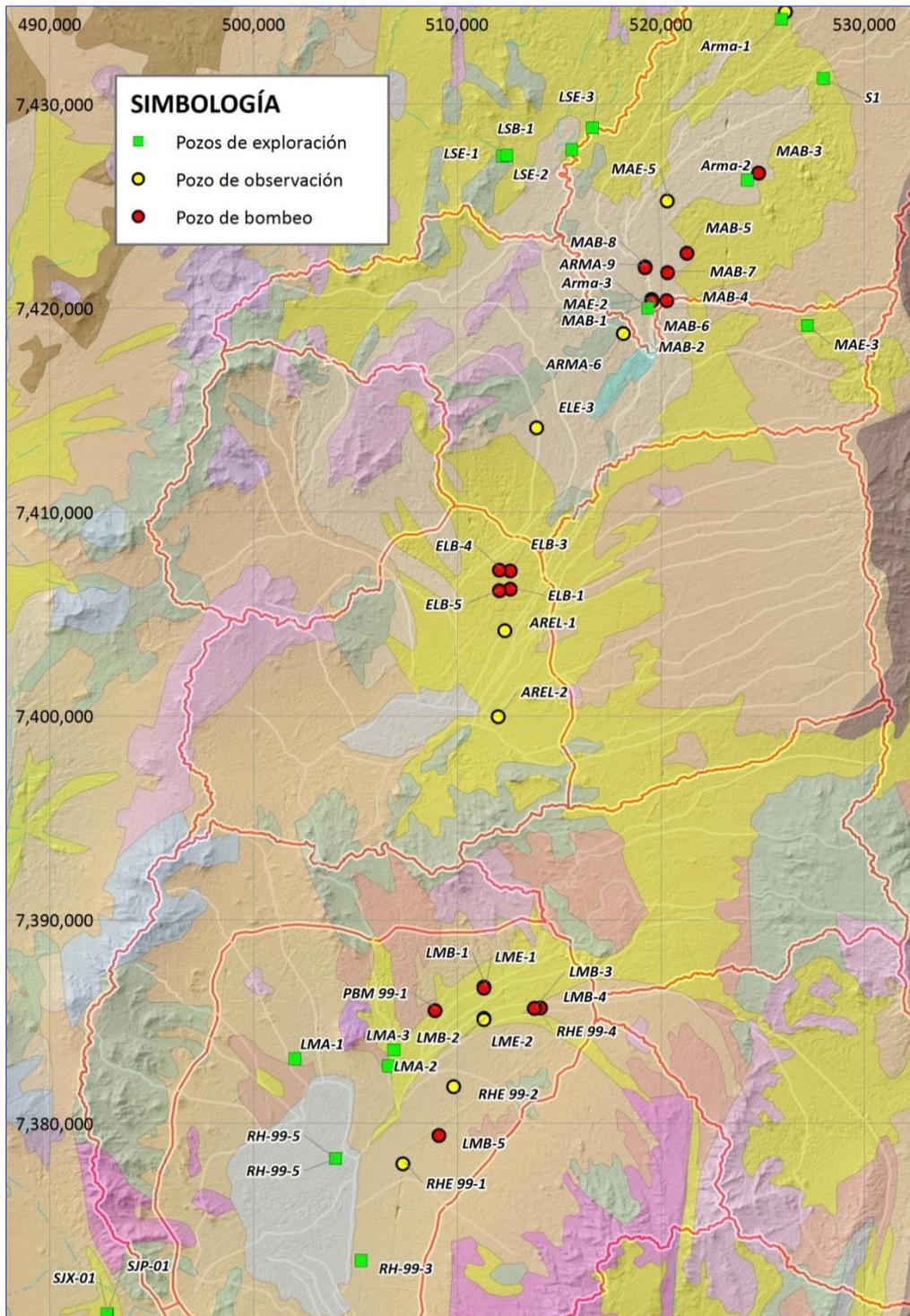


Figura 9.2-6. Pozos en la zona de estudio



Nota: Los pozos identificados como "Pozos de exploración", fueron incluidos en el SIG del estudio "Análisis y sistematización de información regional para plan estratégico para gestión de recursos hídricos Región de Antofagasta". Según la información de dicho estudio, deberían corresponder a pozos de exploración.

Figura 9.2-7. Ubicación de estaciones TEM de expediente NE-0203-1526

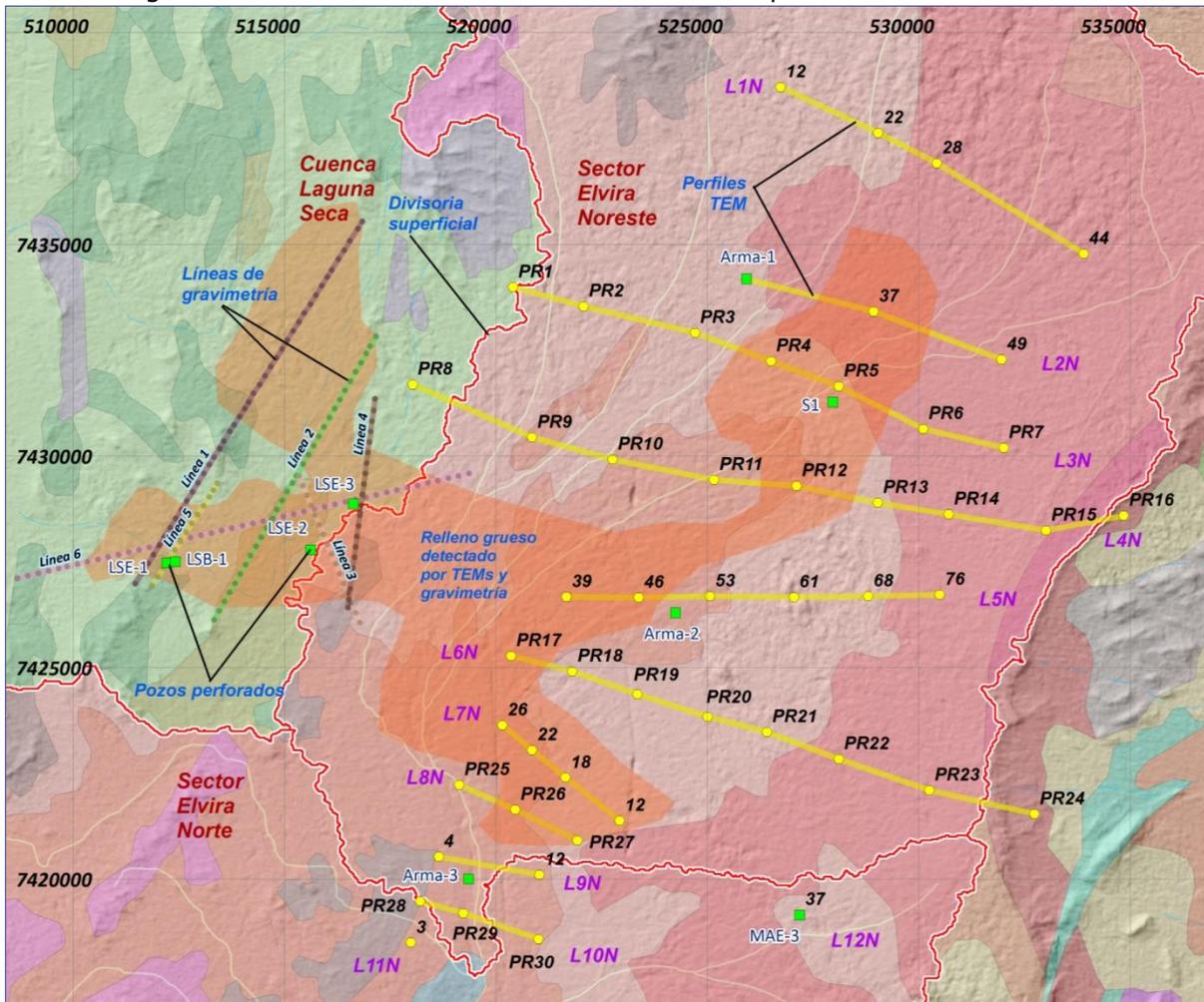
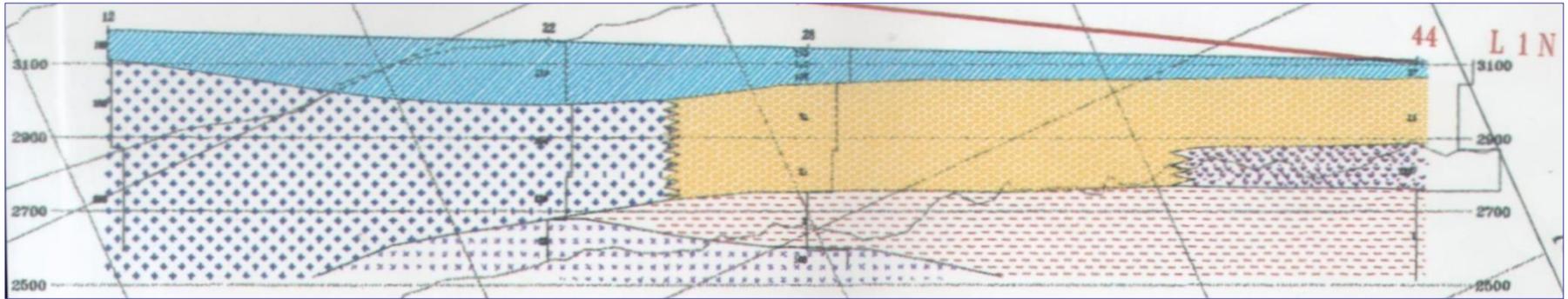


Figura 9.2-8. Leyenda perfiles TEM Figura 9.2-9 a Figura 9.2-12

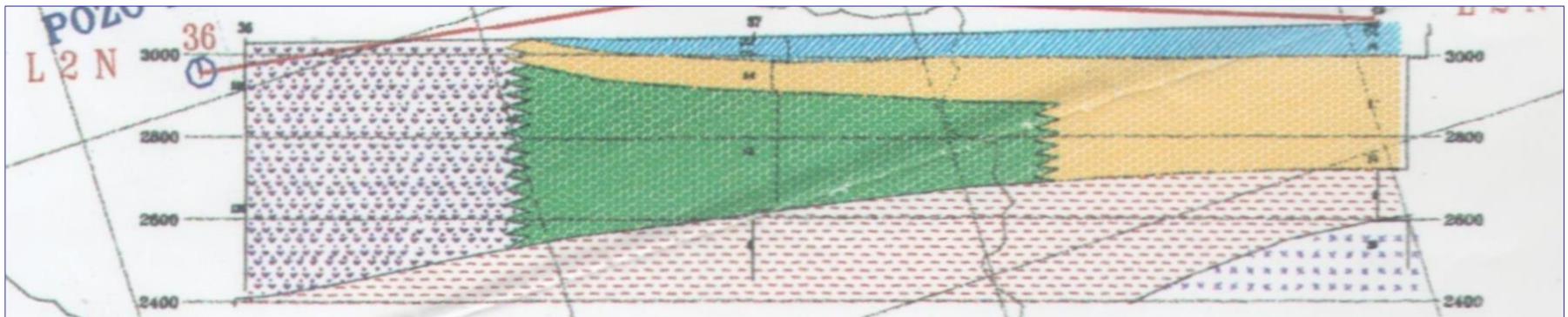
RESISTIVIDAD [ohm-m]	DESCRIPCIÓN DE UNIDADES GEOELECTRICAS
 50- 600	Cubierta sedimentaria drenada
 30 - 60	Gravas Terciarias-Cuaternarias y Formación Purilactis
 15 - 30	Acuifero buena calidad
 7 - 15	Acuifero mediana calidad
 > 60	Acuifero mediana a baja calidad
 > 200	Unidad medianamente resistiva (rocas volcánicas o sedimentarias de baja permeabilidad)
 > 200	Unidad resistiva (roca impermeable)
 1 - 10	Unidad muy conductora
 x x	Roca basal resistiva impermeable

Figura 9.2-9. Perfiles TEM L1N, L2N y L3N. Expediente NE-0203-1526

Perfil L1N



Perfil L2N



Perfil L3N

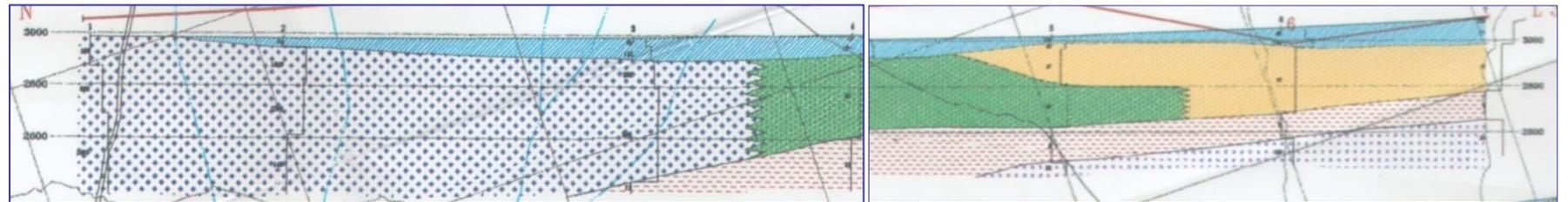
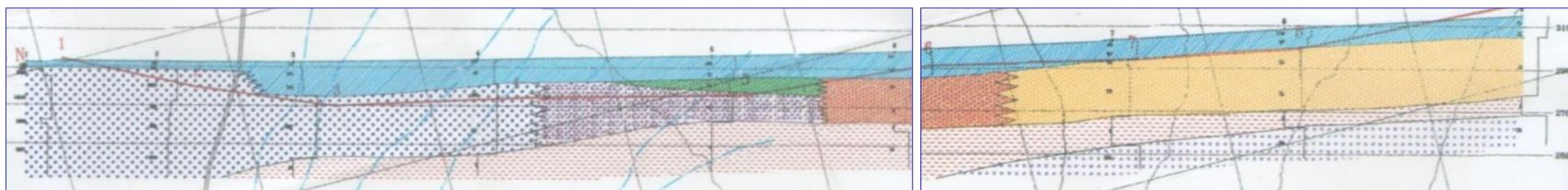
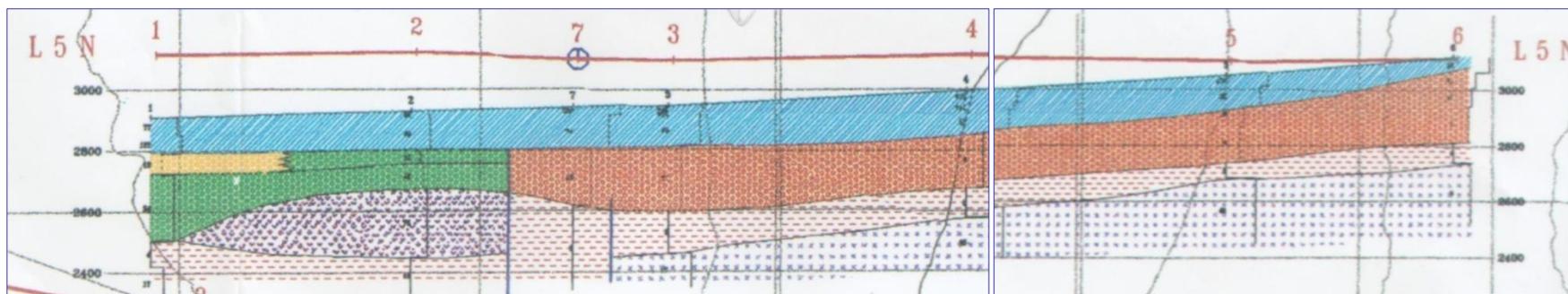


Figura 9.2-10. Perfiles TEM L4N, L5N y L6N. Expediente NE-0203-1526

Perfil L4N



Perfil L5N



Perfil L6N

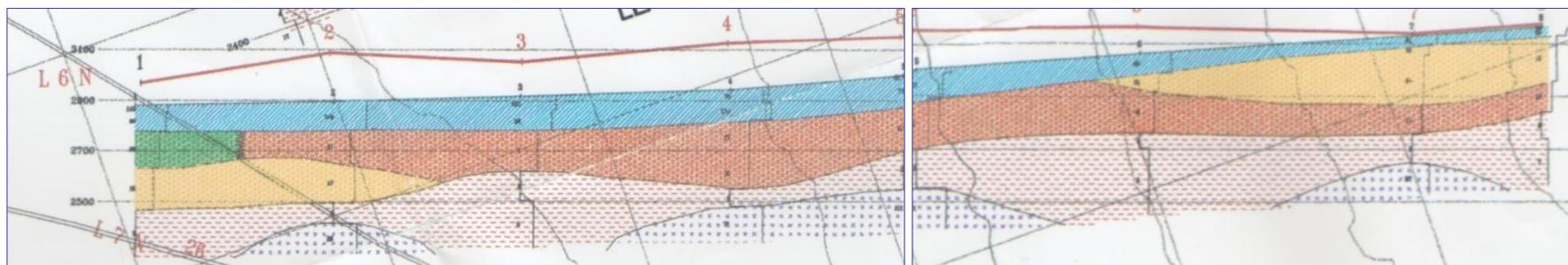
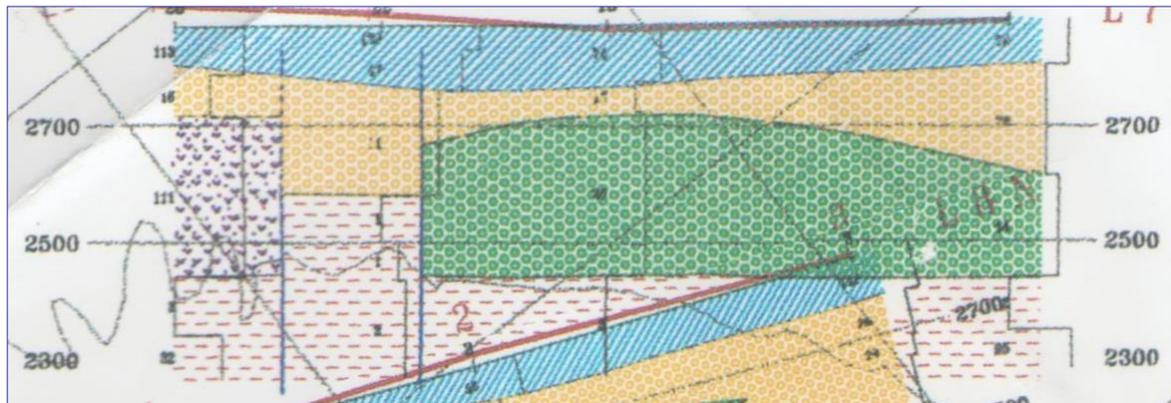
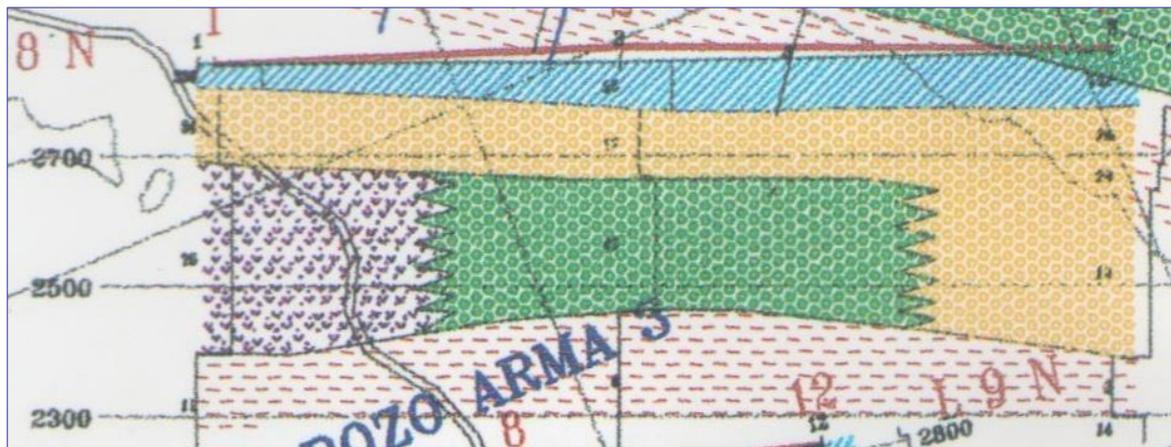


Figura 9.2-11. Perfiles TEM L7N, L8N y L9N. Expediente NE-0203-1526
Perfil L7N



Perfil L8N



Perfil L9N

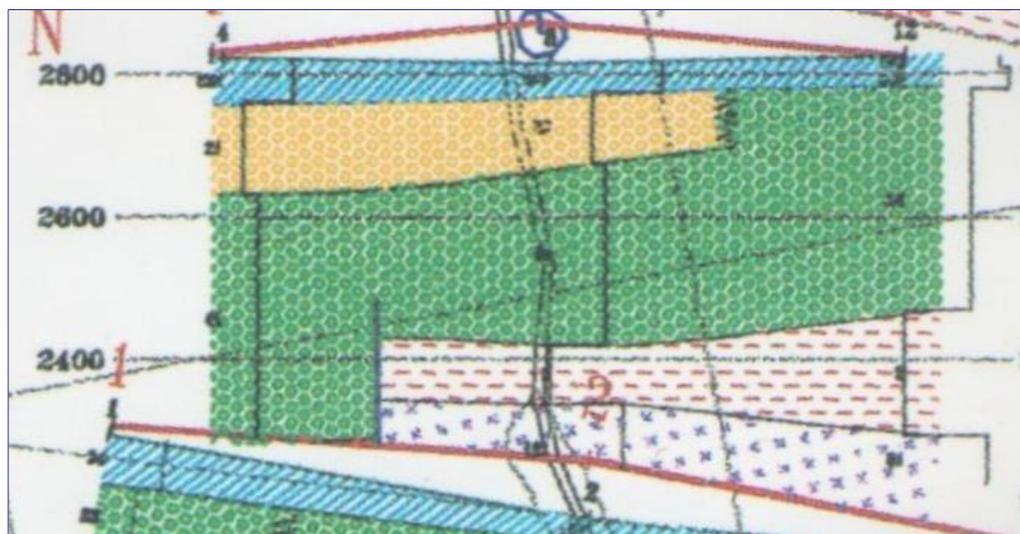
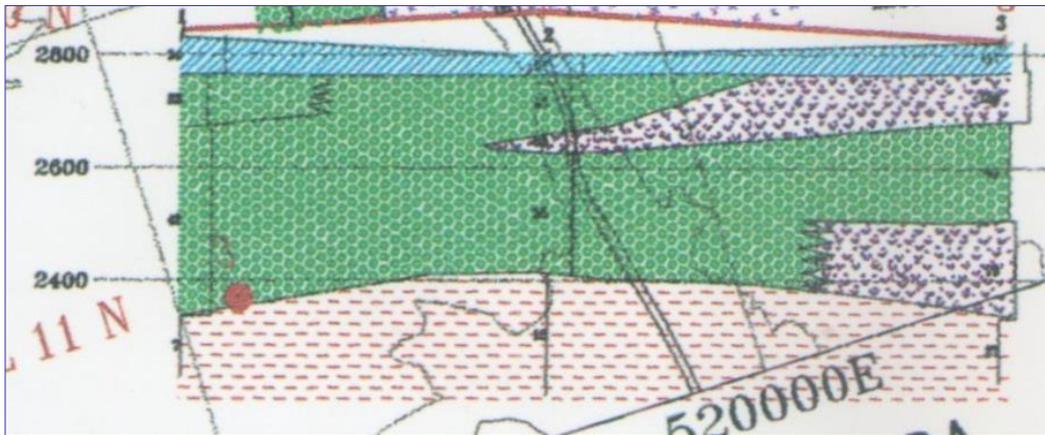
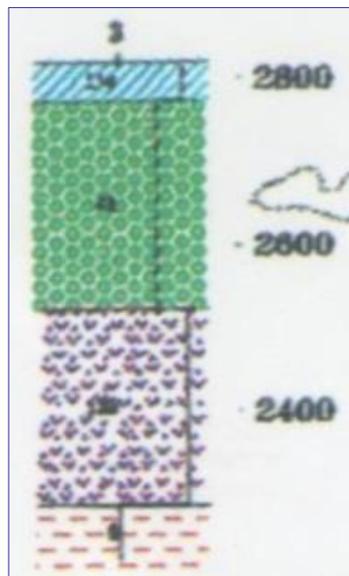


Figura 9.2-12. Perfiles TEM L10N, L11N y L12N. Expediente NE-0203-1526

Perfil L10N



Perfil L11N



Perfil L12N

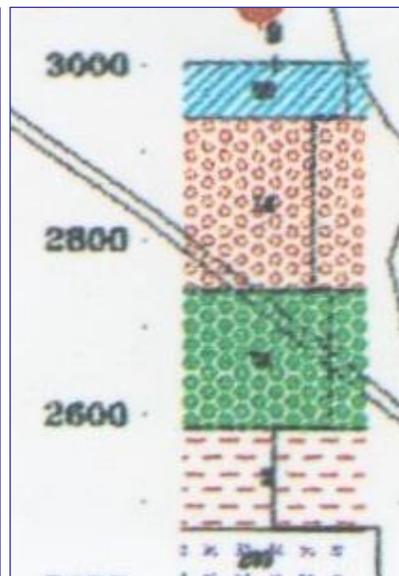


Figura 9.2-13. Perfil TEM expediente NE-0203-1982

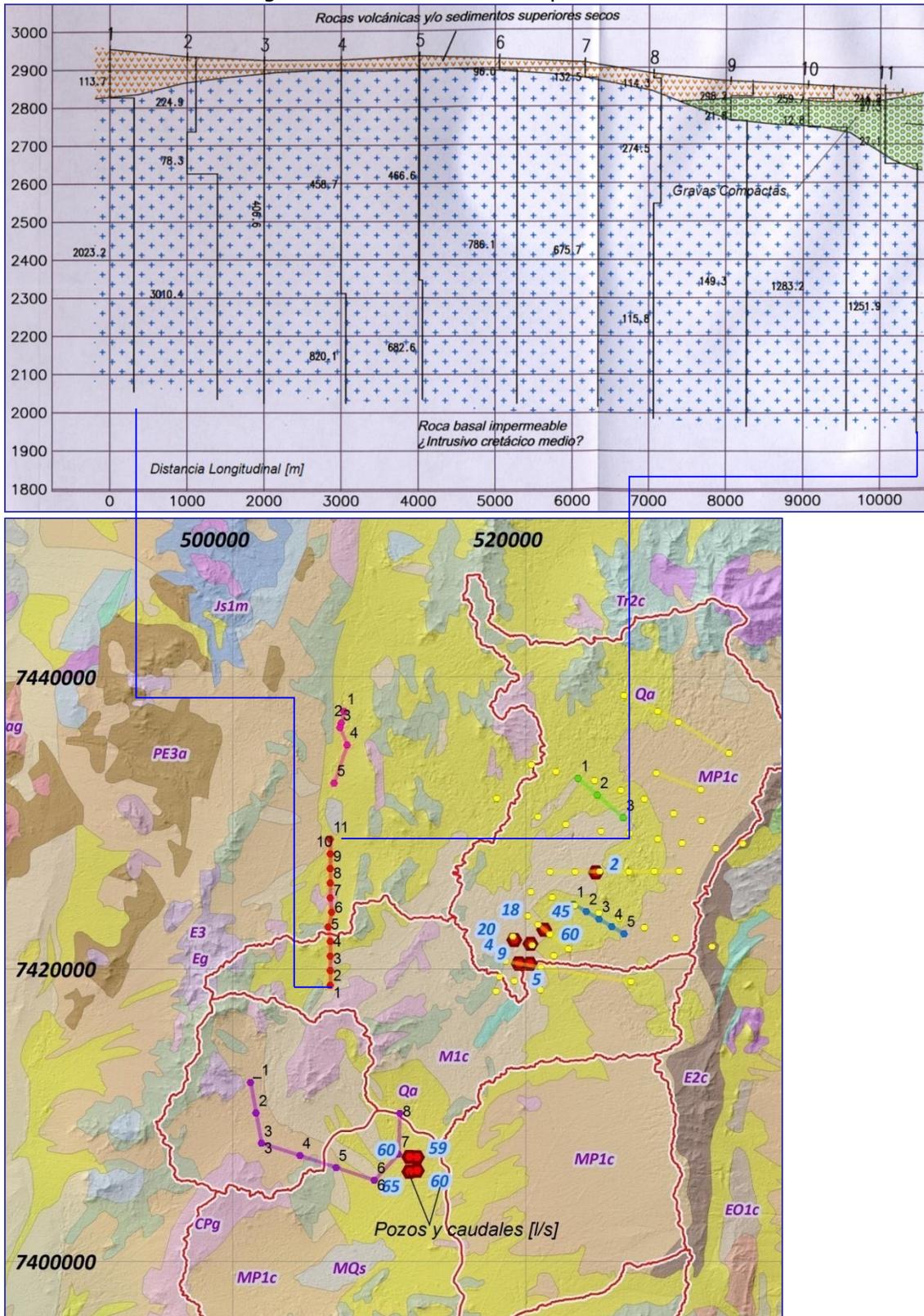


Figura 9.2-14. Perfil TEM A-2 de expediente NE-0203-2622

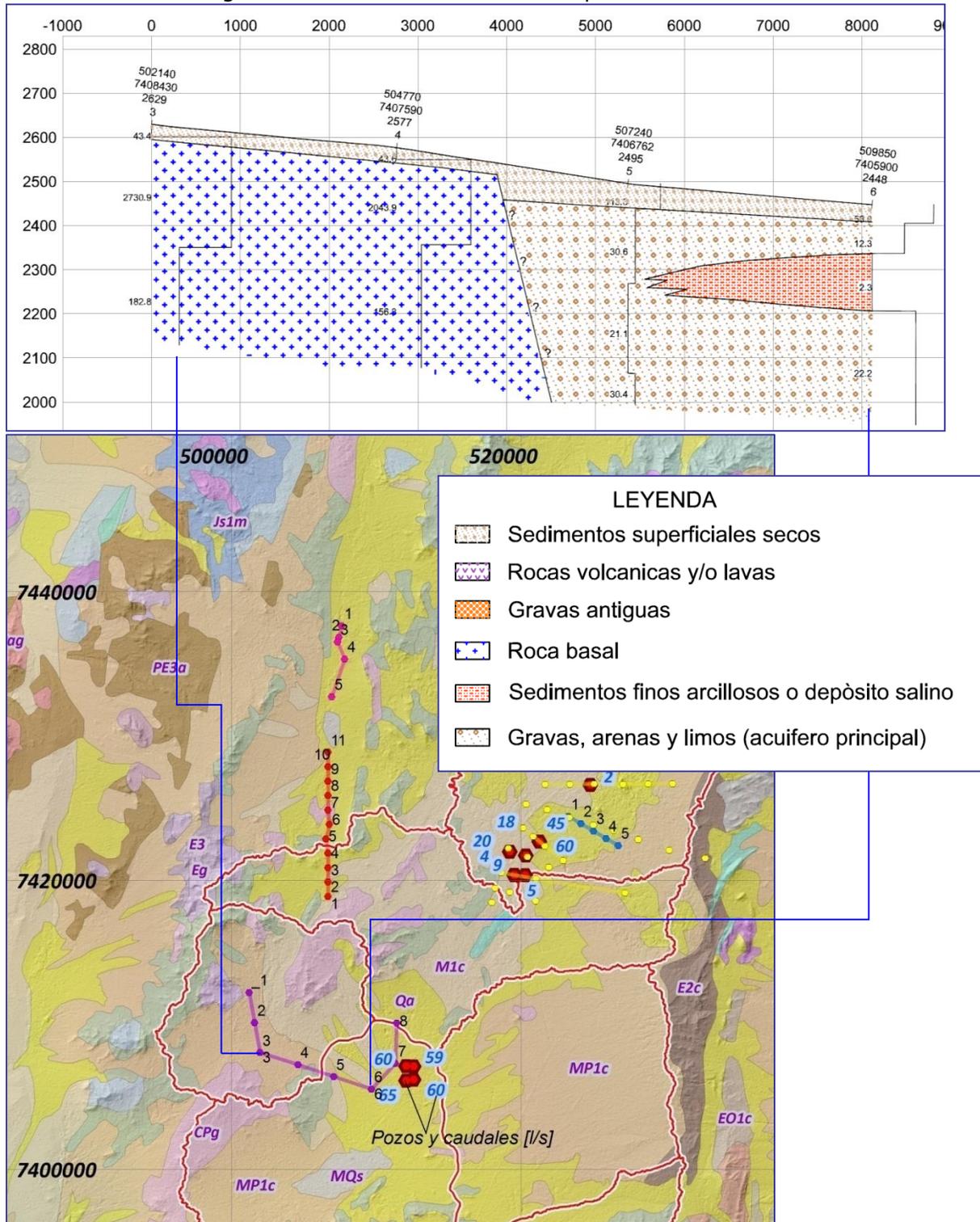


Figura 9.2-15. Perfil TEM A-1 de expediente NE-0203-2622

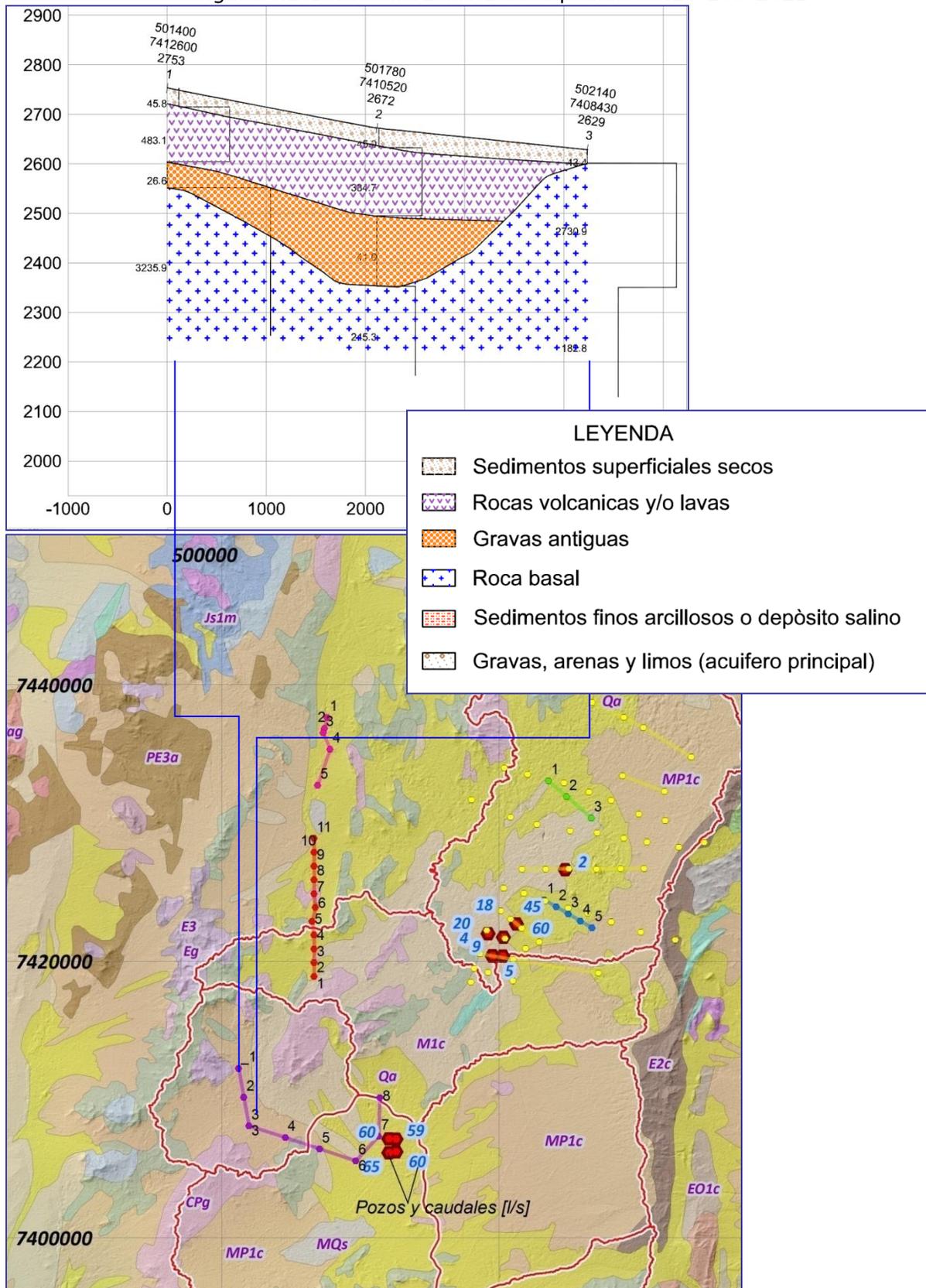


Figura 9.2-16. Perfil TEM A-3 de expediente NE-0203-2622

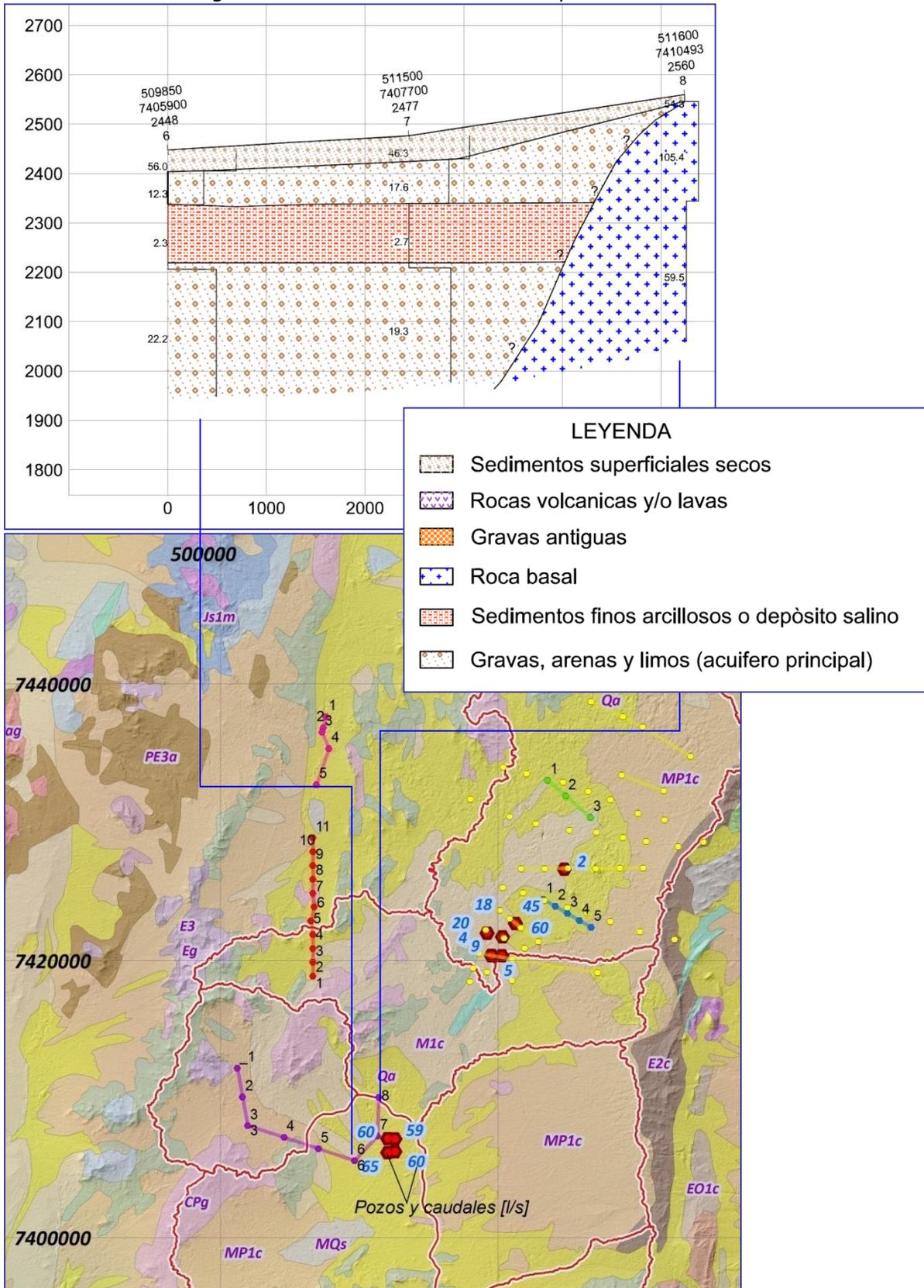


Figura 9.2-17. Perfil TEM expediente NE-0203-2680

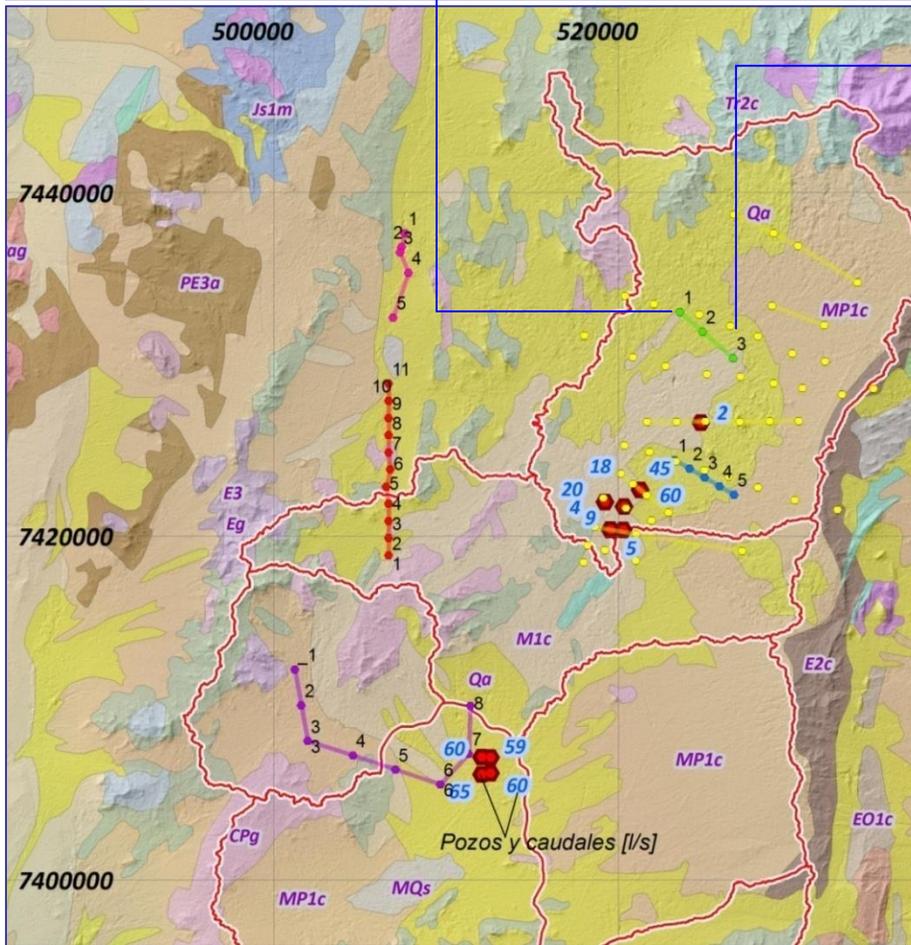
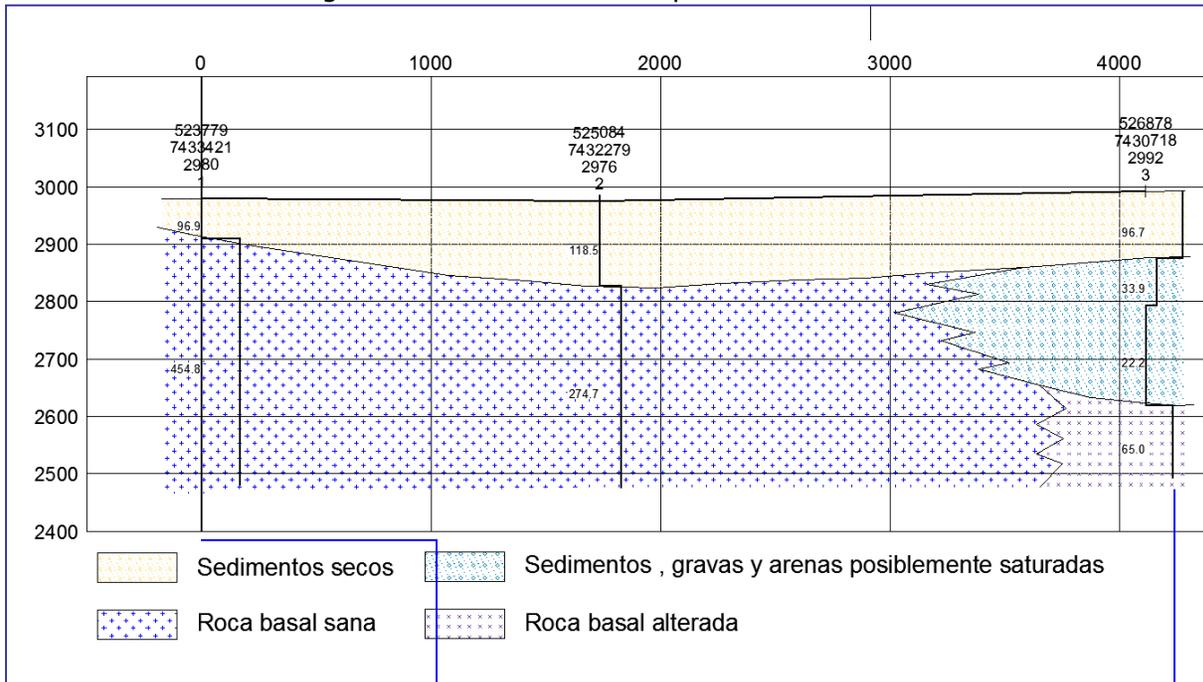


Figura 9.2-18. Perfil TEM expediente NE-0203-5146

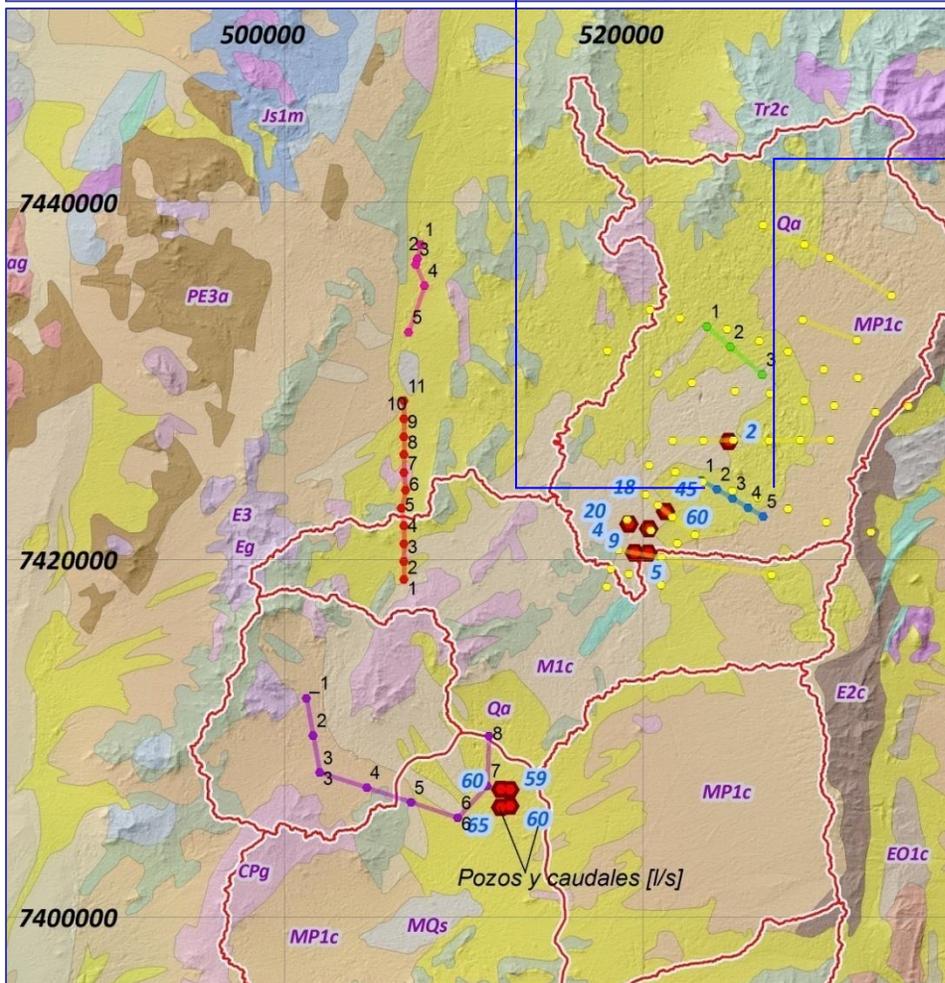
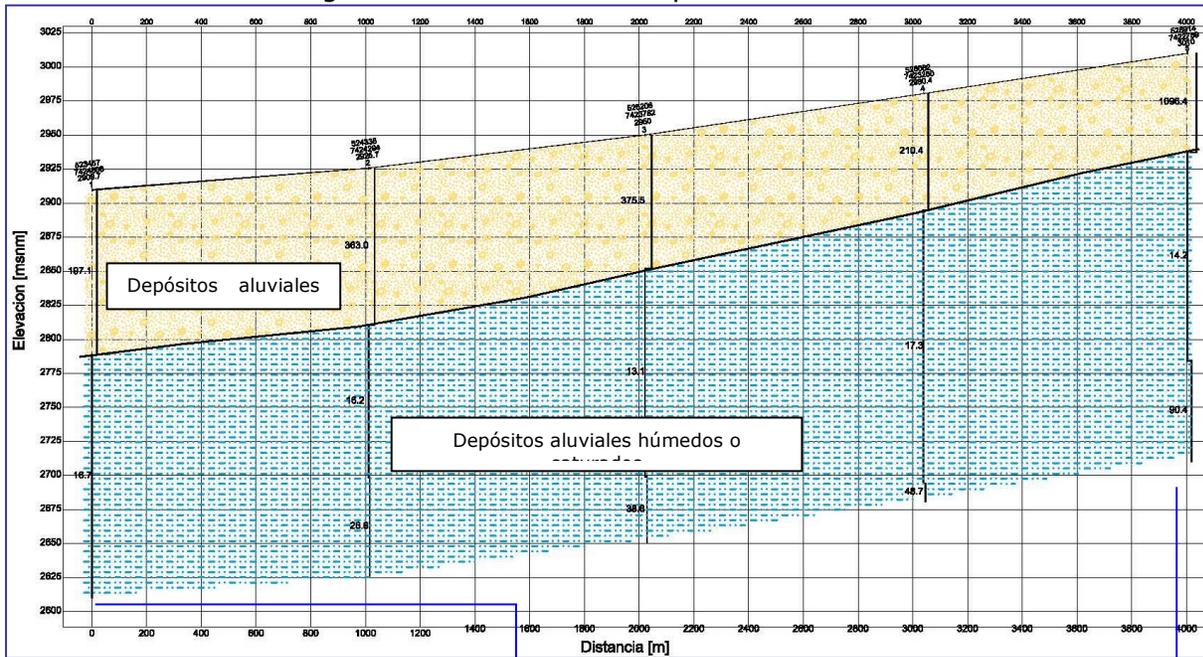


Figura 9.2-19. Expediente NE-0203-1526 Pozo Arma-1

Profundidad (m)	Nombre	CM %	G _g	G _f	A _g	M %	A _m	A _f	L	Arc	Litologías
0	Grava media y arena	65	2	++	+	35	++	++	2	2	α, δ, Frag lim, Crx Czo
5	Grava media y arena	70	2	+	++	30	+	++	6	2	α, δ, γ _{ros} , AR, Frag lim, Crx Czo
10	Grava media y arena gruesa	65	=	++	++	35	++	+	6	2	α, δ, γ _{ros}
15	Grava media	70-80	=	++	+	30-20	++	+	+	=	α, γ, AR, Crx Czo y Plg
20	Grava con arena	60	+	+	+	40	+	+	+	6	α, γ, AR
25	Grava gruesa a fina	70	+	+	2	30	2	6	++	6	α, ρ, γ, AR, Crx Czo y Plg
30	Diamicto	30	+	6	2	70	2	2	++	+	α, ρ, γ, AR
35	Limo con grava	40				60	2	2	++	6	α, γ
40	Limo arenoso con gravilla	35	=	+	+	65	2	2	++	6	α, γ, AR
45	Arena	30	2	2	++	70	++	++	2	=	α, AR
50	Diamicto	25	=	+	2	75	6	6	++	+	α, γ
55	Diamicto	35	++	2	2	65	2	2	++	+	α, γ, Frag lim
60-75	Arenisca roja (Formación Purilactis)										Abundantes fracturas rellenas con limonita y calcita
75-80	Andesitas										

Nota: Profundidad 136 m (no se detectó agua)

Figura 9.2-20. Expediente NE-0203-1526 Pozo Arma-2.

	Nombre	CM %	G _g	G _f	A _g	M %	A _m	A _f	L	Arc	Litologías
1	Limo y arena con grava	40	6	++	+	60	=	+	++	6	Yros, p, α, Cx Czo, Plg, Feld-K, Yeso
5	Grava limosa	50	+	+	2	50	2	+	++	+	Y, p, α, Cx Czo, Plg, Feld-K, Yeso
10	Grava limosa	50	+	+	2	50	2	+	++	+	p, α, Y, Cx Czo, Plg
15	Limo y arena con grava	40	-	+	6	60	6	+	++	2	Y, p, AR, Cx Czo
20	Arena limosa con grava	30	2	++	+	70	6	++	6	2	AR, p, Y, α, Cx Czo
25	Grava arenosa	60	6	++	+	40	6	++	+	2	Yros, AR, Cx Plg
30	Diamicto	30	+	+	6	70	2	+	+	6	α _{ab} , p, AR, Cx Czo
35	Grava limo-arenosa	50	+	+	6	50	6	+	++	+	α _{ab} , p, AR, Yros
40	Grava areno-limosa	60	6	++	+	40	+	6	+	6	α _{ab} , p, AR, Yros, Czo
45	Gravilla y arena limosa	50	2	+	6	50	++	+	6	=	α _{ab} , p, AR, Yros, Cx Czo, Feld-K
50	Grava limosa	65	6	++	6	35	2	+	++	2	p, AR, Yros, α _{ab} , Cx Czo, Feld-K
55	Arena con grava	40	++	+	+	60	6	++	+	2	p, AR, Yros, α _{ab} , Cx Czo, Feld-K
60	Grava arenosa	70	++	6	2	30	+	+	+	+	p, α _{ab} , AR, Yros, Apl, Cx Czo, Feld-K
65	Grava arenosa	50	+	++	+	50	6	++	+	2	α _{ab} , p, Y, AR, Cx Czo, Plg
70	Grava limo-arenosa	70	+	++	+	30	6	6	++	+	AR, α, p, Cx Czo, Lim
75	Diamicto	35	6	++	+	65	=	2	++	+	α, AR, p, Cx Czo, Lim, Frag sil
80	Diamicto	40	+	++	6	60	2	+	++	6	p, AR, α, y, Frag Lim, Cx Czo y yeso
85	Sin recuperación de CM	—	—	—	—	—	2	6	++	+	—
90	Grava limo-arenosa	65	6	++	2	35	=	+	++	+	Frag sil, p, γ, α
95	Grava y arena	50	+	+	+	50	+	+	6	2	Frag sil, α, AR, p, Ydes, Frag Lim
100											

NE

Figura 9.2-21. Expediente NE-0203-1526 Pozo Arma-2 (continuación)

	Nombre	CM %	G ₀	G ₁	A ₀	M %	A _m	A _f	L	Arc	Litologías	Observaciones
	Diamicto	5	=	2	=	95	2	+	+	+	α	
	Arena y finos con gravas	50	6	1	+	50	+	+	+	+	Frag sil, AR, ρ	
	Diamicto	10	=	2	2	90	++	+	++	+	Frag sil	
	Arena y limo con escasa gravas	35	2	6	6	65	+	+	+	6	Frag sil, α, ρ, AR, Frag Lim, Cx Czo y Feld-K	
	Gravilla y Arena	50	=	++	+	50	++	+	2	2	Yros. Frag sil, ρ, AR, Frag Lim, Cx Feld-K, α	
	Gravilla y arena (continuación)											
	Arena y finos con gravilla	40	=	+	++	60	++	+	+	+	γ, α _{sat} , AR	
	Grava y arena	50	2	++	+	50	++	++	6	6	ρ, Cx Czo, Frag sil, γ, Frag Lim	
	Arena limosa con escasa grava	30	=	+	6	70	++	++	+	6	ρ, Frag sil, γ, Frag Lim	AL: 1.88 l/s (10 l)
	Grava y arena	50	6	+	+	50	++	++	6	2	AR, γ	AL: 1.67 l/s (10 l)
	Arenisca roja (Formación Purilactis)											

Figura 9.2-22. Expediente NE-0203-1526 Pozo Arma-3

Profundidad (m)	Nombre	CM %	G _g	G _f	A _g	M %	A _m	A _f	L	Arc	Litologías	Observaciones
0	Sin recuperación	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	Gravilla con Arenas	80	=	++	++	20	+	±	-	-	Yros. p, αgris, δ, Crx	
2	Arena limosa	20	=	+	6	80	6	++	+	+	Yros, αgris, Crx	
3	Arena limosa con escasa gravilla	50	=	+	+	50	6	++	+	6	Yros. p, αgris, δ, frag sil Crx. Cm, Feld-K, Pt	
4	Arena limosa con escasa grava	50	+	6	6	50	6	++	+	6	Yros, p, αgris, δ	
5	Arena limosa	15	+	++	-	85	+	++	+	6	αgris, Yros, δgris	
6	Grava arenosa	65	++	+	+	35	+	6	6	-	αgris, Yros, frag sil	
7	Arena limosa con gravilla	45	=	++	+	55	6	±	+	-	αgris, Yros, frag sil	
8	Arena limosa con bolones	45	++	+	+	55	++	6	6	-	αgris, Y, frag sil	
9	Arena con limo y gravilla	30	=	6	++	70	+	++	6	-	Clas, Yros, Yros	
10	Grava areno-limosa	55	6	++	+	45	+	++	+	6	Yros, Clas, Yros	
11	Grava gruesa con escasa matriz	85	++	6	-	15	-	++	+	-	Yros, Clas, Yros	
12	Arena y gravilla limosa	50	=	++	6	50	6	++	++	-	Yros, Clas	AL: 0,4 l/s (20 l)
13	Grava y arena	40-60	=	++	++	60-40	++	+	6	-	Clas, Yros, Yros	AL: 0,7 l/s (30 l)
14	Grava y arena	40-60	=	++	++	60-40	++	+	6	-	AR, Clas, Yros	AL: 1,3 l/s (40 l)
15												AL: 1,6 l/s (60 l)
16												AL: 0,7 l/s (40 l)
17												AL: 1,1 l/s (50 l)
18												AL: 2,3 l/s (80 l)
19												AL: 2,3 l/s (80 l)
20												AL: 0,9 l/s (60 l)
21												AL: 0,7 l/s (60 l)
22												AL: 0,8 l/s (60 l)
23												AL: 2,1 l/s (80 l)
24												AL: 1,2 l/s (80 l)
25												AL: 3,4 l/s (100 l)
26												AL: 3,2 l/s (100 l)
27												AL: 3,3 l/s (120 l)
28												AL: 3,7 l/s (120 l)
29												AL: 3,7 l/s (120 l)
30												AL: 4,0 l/s (80 l)
31												AL: 4,0 l/s (80 l)
32												AL: 4,4 l/s (80 l)
33												AL: 3,4 l/s (120 l)
34												AL: 5,1 l/s (120 l)
35												AL: 4,5 l/s (120 l)
36												AL: 5,2 l/s (120 l)
37												AL: 4,6 l/s (120 l)
38												AL: 5,0 l/s (120 l)

NE

Figura 9.2-23. Expediente NE-0203-1526 Pozo Arma-3 (continuación)

Profundidad (m)	Nombre	CM %	G _g	G _f	A _g	M %	A _m	A _f	L	Arc	Litologías	Observaciones
22	Areniscas rojas (Formación Puntiacis, KTp)										Abundantes fracturas rellenas con caliza, yeso y en menor proporción, limonita	AL: 6,2 l/s (120 l)
23												AL: 3,0 l/s (120 l)
24												AL: 5,5 l/s (120 l)
25												AL: 5,2 l/s (120 l)
26												AL: 3,3 l/s (120 l)
27												AL: 3,3 l/s (120 l)
28												AL: 4,4 l/s (120 l)
29												AL: 2,9 l/s (120 l)
30												AL: 2,9 l/s (120 l)
31												AL: 2,8 l/s (120 l)
32												
33												AL: 1,9 l/s (120 l)
34												AL: 3,5 l/s (120 l)
35												AL: 1,9 l/s (120 l)
36												AL: 2,6 l/s (120 l)
37										AL: 2,6 l/s (120 l)		
38										AL: 3,7 l/s (120 l)		
39										AL: 3,42 l/s (120 l)		

Figura 9.2-24. Expediente NE-0203-1924 Pozo MAE-3

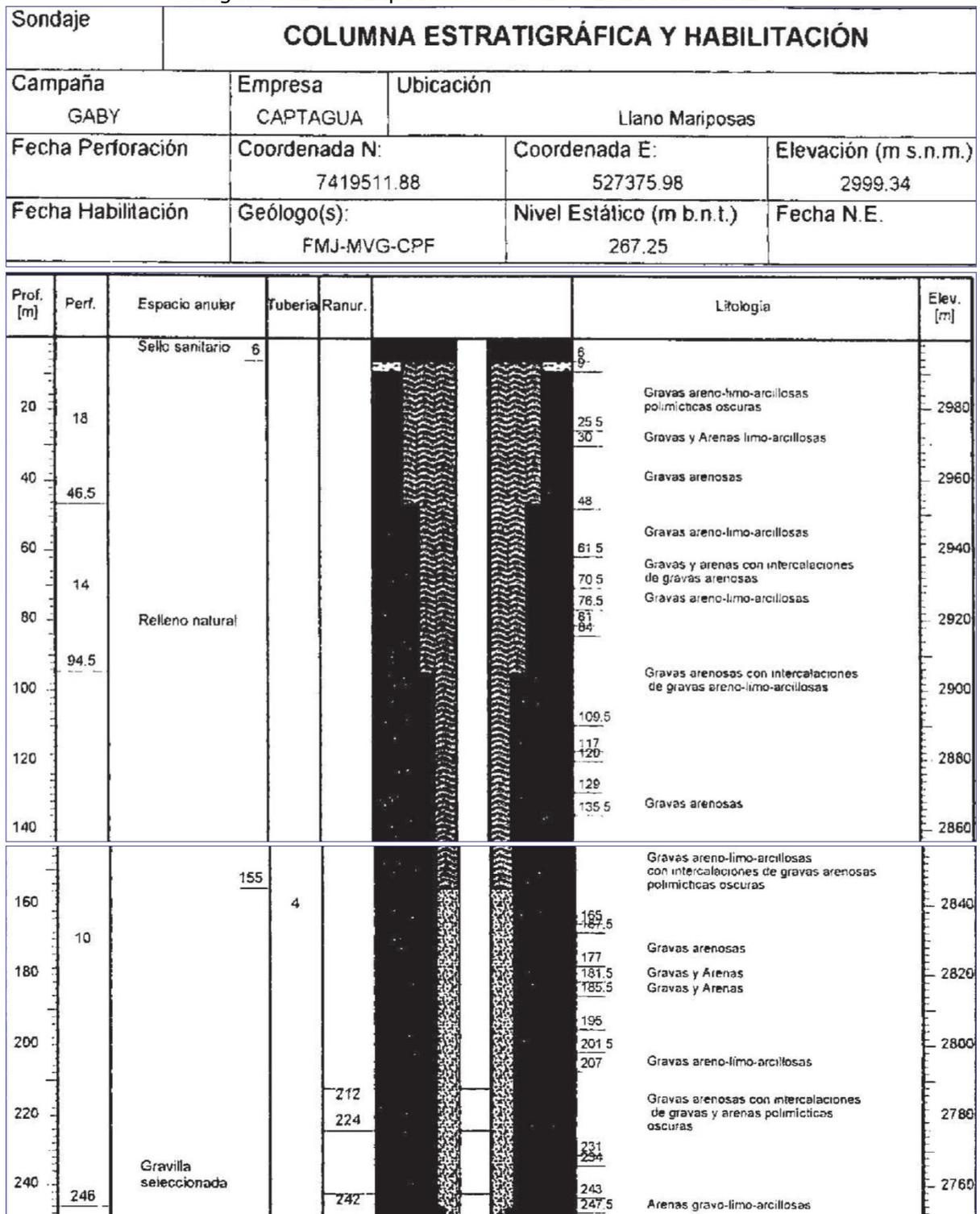


Figura 9.2-25. Expediente NE-0203-1924 Pozo MAE-3 (continuación)

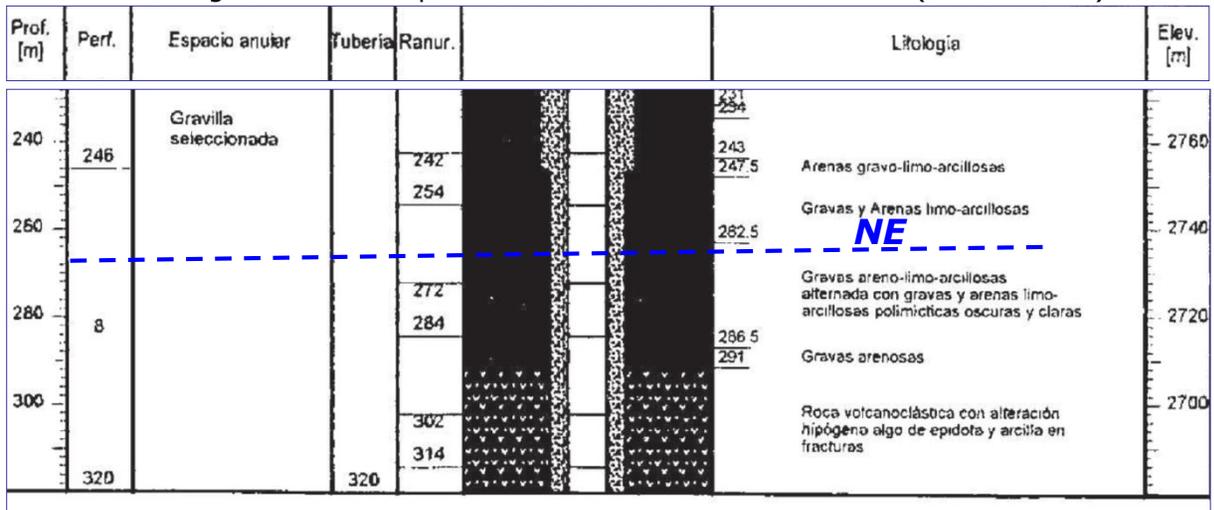


Figura 9.2-26. Expediente NE-0203-1026 Pozo LMA-1

Profundidad	Litología	% Gravillas y Arenas	DESCRIPCION LITOLÓGICA	% Limos y Arcillas
0- 1			Grava café clara arcillosa fina a media	
1- 2			Grava café clara arcillosa fina a media	
2- 3			Arena café claro grano medio	
3- 4			Grava café claro	
4- 5			Grava media café claro, algo arcillosa	
5- 6			Arena media café claro, algo arcillosa	
6- 7			Arena café claro grano medio a grueso, arcillosa	
7- 8			Arena café claro grano medio a grueso, arcillosa	
8- 9			Grava fina arenosa café claro	
9- 10			Grava fina café rojiza arenosa	
10- 11			Grava gruesa café claro, algo arcillosa	
11- 12			Grava fina café claro arcillosa	
12- 13			Grava media café claro muy arcillosa	
13- 14			Grava media café claro muy arcillosa	
14- 15			Grava fina café claro arcillosa	
15- 16			Limo arenoso café claro	
16- 17			Limo arenoso café claro	
17- 18			Limo arenoso café rojizo	
18- 19			Arena arcillosa gris, grano medio	
19- 20			Arena arcillosa gris, grano grueso	
20- 21			Grava fina arenosa - arcillosa	
21- 22			Limo gris arenoso	
22- 23			Grava gris media a gruesa	
23- 24			Limo arcilloso gris algo arenoso	
24- 25			Arcilla gris finamente arenosa	
25- 26			Arcilla gris finamente arenosa	
26- 27			Arcilla gris finamente arenosa	
27- 28			Arcilla gris finamente arenosa	
28- 29			Arcilla gris finamente arenosa	
29- 30			Arcilla limosa gris finamente arenosa	
30- 31			Arcilla gris finamente arenosa	
31- 32			Arcilla gris finamente arenosa	
32- 33			Arcilla gris finamente arenosa	
33- 34			Arcilla gris finamente arenosa	
34- 35			Arcilla gris finamente arenosa	
35- 36			Arcilla gris finamente arenosa	
36- 37			Arcilla gris finamente arenosa	
37- 38			Arcilla gris finamente arenosa	
38- 39			Arcilla gris finamente arenosa	
39- 40			Arcilla gris finamente arenosa	
40- 41			Arcilla gris finamente arenosa	
41- 42			Arcilla gris finamente arenosa	
42- 43			Arcilla gris finamente arenosa	
43- 44			Arcilla limosa café rojizo finamente arenosa	
44- 45			Arcilla limosa café rojizo finamente arenosa	
45- 46			Arcilla limosa café rojizo finamente arenosa	
46- 47			Arcilla limosa café rojizo finamente arenosa	
47- 48			Andesita oxidada café rojiza	
48- 49			Andesita oxidada café rojiza	
49- 50			Andesita oxidada café rojiza	

Figura 9.2-27. Expediente NE-0203-1026 Pozo LMA-1 (continuación)

Profundidad	Litología	% Gravas y Arenas	DESCRIPCION LITOLOGICA	% Limos y Arcillas
50 - 51	△ △ △ △		Roca Andesítica Oxidada café rojiza	
51 - 52	△ △ △ △		Roca Andesítica Oxidada café rojiza	
52 - 53	△ △ △ △		Roca Andesítica Oxidada café rojiza	
53 - 54	△ △ △ △		Roca Andesítica Oxidada café rojiza	
54 - 55	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
55 - 56	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
56 - 57	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
57 - 58	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
58 - 59	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
59 - 60	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
60 - 61	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
61 - 62	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
62 - 63	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
63 - 64	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
64 - 65	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
65 - 66	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
66 - 67	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
67 - 68	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
68 - 69	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
69 - 70	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
70 - 71	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
71 - 72	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
72 - 73	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
73 - 74	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
74 - 75	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
75 - 76	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
76 - 77	△ △ △ △		Andesita gris y café rojiza oxidada	
77 - 78	△ △ △ △		Andesita café rojiza oxidada	
78 - 79	△ △ △ △		Andesita café rojiza oxidada	
79 - 80	△ △ △ △		Andesita café rojiza oxidada	
80 - 81	△ △ △ △		Andesita café rojiza oxidada	
81 - 82	△ △ △ △		Andesita café rojiza oxidada	
82 - 83	△ △ △ △		Andesita café rojiza oxidada - Profundidad total 83 metros	
83 - 84				
84 - 85				
85 - 86				
86 - 87				
87 - 88				
88 - 89				
89 - 90				
90 - 91				
91 - 92				
92 - 93				
93 - 94				
94 - 95				
95 - 96				
96 - 97				
97 - 98				
98 - 99				
99 - 100				

Figura 9.2-28. Expediente NE-0203-1026 Pozo LMA-2

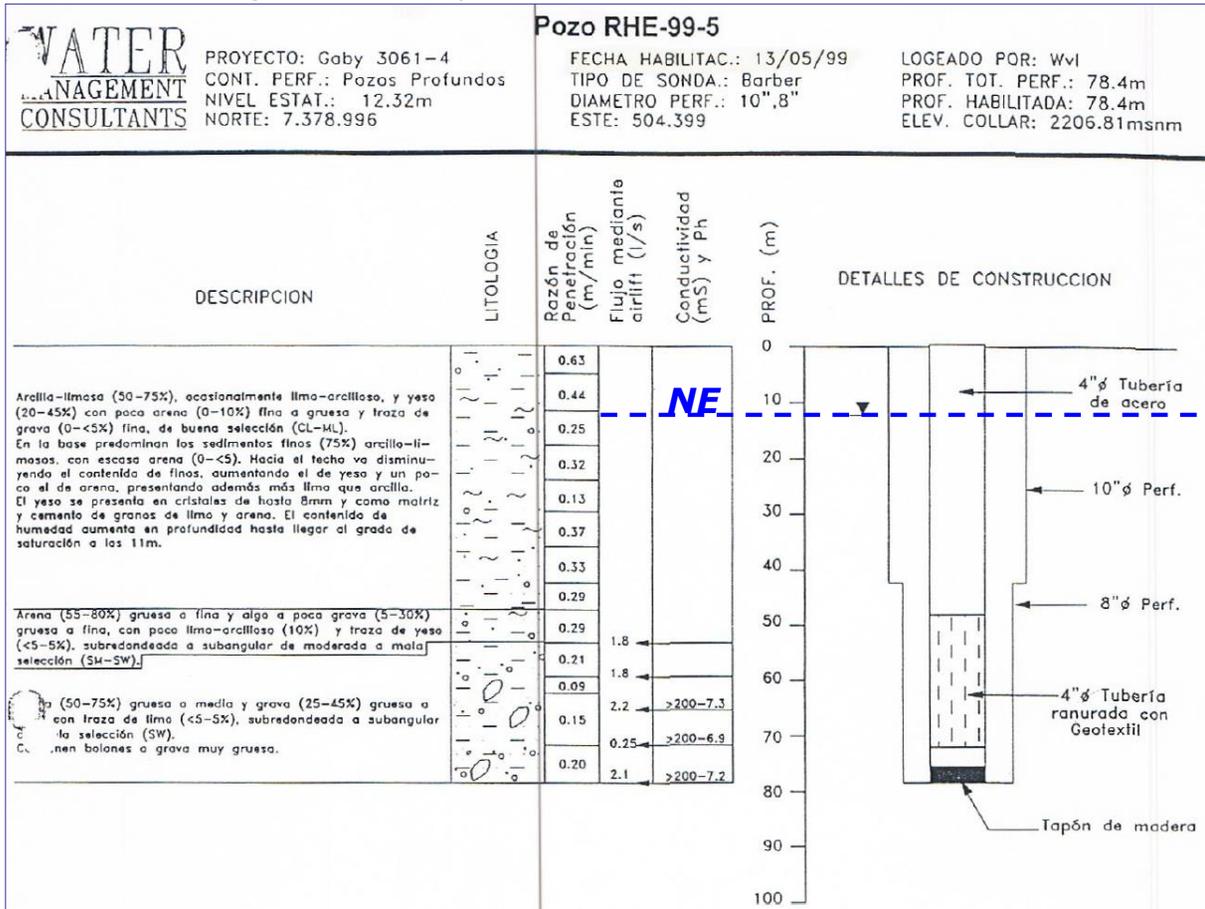
Profundidad	Litología	% Gravillas y Arenas	DESCRIPCION LITOLOGICA	% Limos y Arcillas
0 - 1			Grava arcillosa media a gruesa rodados de andesita	
1 - 2			Arena muy arcillosa salina grano grueso	
2 - 3			Limo gris claro, arenoso tobáceo	
3 - 4			Arena salina café grano grueso	
4 - 5			Limo salino café	
5 - 6			Limo salino arenoso café	
6 - 7			Limo salino arenoso rojo	
7 - 8			Limo salino rojo	
8 - 9			Limo salino café rojizo	
9 - 10			Limo poco salino café rojizo	
10 - 11			Grava fina gris oscura - Limo salino café rojizo	
11 - 12			Grava fina gris oscura - Limo salino café rojizo	
12 - 13			Grava fina gris oscura - Limo salino café rojizo	
13 - 14			Grava fina gris oscura - Limo salino café rojizo	
14 - 15			Grava fina gris oscura - Limo salino café rojizo	
15 - 16			Grava fina gris oscura - Limo salino café rojizo	
16 - 17			Grava fina gris oscura - Limo salino café rojizo	
17 - 18			Grava fina gris oscura - Limo salino café rojizo	
18 - 19			Grava fina gris oscura - Limo salino café rojizo	
19 - 20			Grava fina gris oscura - Limo salino café rojizo	
20 - 21			Grava angular - Limo café rojizo	
21 - 22			Grava angular - Limo café rojizo	
22 - 23			Grava angular - Limo café rojizo	
23 - 24			Arena gris verdosa gruesa - Limo café rojizo	
24 - 25			Arena gris verdosa gruesa - Limo café rojizo	
25 - 26			Arena gris verdosa gruesa - Limo café rojizo	
26 - 27			Limo café rojizo	
27 - 28			Limo café rojizo Arena verdosa	
28 - 29			Limo café rojizo	
29 - 30			Limo café rojizo - Roca microcristalina angular	
30 - 31			Roca microcristalina	
31 - 32			Roca microcristalina	
32 - 33			Roca microcristalina	
33 - 34			Roca microcristalina	
34 - 35			Roca microcristalina	
35 - 36			Roca microcristalina	
36 - 37			Roca microcristalina	
37 - 38			Roca microcristalina	
38 - 39			Roca microcristalina	
39 - 40			Roca microcristalina	
40 - 41			Roca microcristalina	
41 - 42			Roca microcristalina	
42 - 43			Roca microcristalina	
43 - 44			Roca microcristalina	
44 - 45			Roca microcristalina	
45 - 46			Roca microcristalina	
46 - 47			Roca microcristalina	
47 - 48			Roca microcristalina	
48 - 49			Roca microcristalina	
49 - 50			Roca microcristalina	

NE

Figura 9.2-29. Expediente NE-0203-1026 Pozo LMA-3

Profundidad	Litología	% Gravias y Arenas	DESCRIPCION LITOLOGICA	% Limos y Arcillas
0 - 1			Arena gruesa - Limo rojo arenoso	
1 - 2			Arena gruesa rojizo - Limo café rojizo	
2 - 3			Arena gruesa rojizo - Limo café rojizo	
3 - 4			Arena gruesa calcarea - Limo café rojizo	
4 - 5			Arena gruesa calcarea - Limo café rojizo	
5 - 6			Limo café rojizo finamente arenoso	
6 - 7			Limo café rojizo finamente arenoso	
7 - 8			Limo café rojizo finamente arenoso - guías de yeso	
8 - 9			Limo café rojizo finamente arenoso - guías de yeso NE	
9 - 10			Limo café rojizo - Grava café rojiza arenosa	
10 - 11			Grava gris rojiza media a gruesa	
11 - 12			Grava gris rojiza media a gruesa	
12 - 13			Grava gris rojiza media a gruesa	
13 - 14			Grava gris rojiza media a gruesa	
14 - 15			Grava gris oscura gruesa - Limo rojo	
15 - 16			Grava gris oscura gruesa - Limo rojo	
16 - 17			Grava gris oscura gruesa - Limo rojo	
17 - 18			Roca andesítica gris oscura	
18 - 19			Roca andesítica gris oscura	
19 - 20			Roca andesítica gris oscura	
20 - 21			Roca andesítica gris oscura	
21 - 22			Roca andesítica gris oscura	
22 - 23			Roca andesítica gris oscura	
23 - 24			Roca andesítica gris oscura	
24 - 25			Roca andesítica gris oscura	
25 - 26			Roca andesítica gris oscura	
26 - 27				
27 - 28				
28 - 29				
29 - 30				
30 - 31				
31 - 32				
32 - 33				
33 - 34				
34 - 35				
35 - 36				
36 - 37				
37 - 38				
38 - 39				
39 - 40				
40 - 41				
41 - 42				
42 - 43				
43 - 44				
44 - 45				
45 - 46				
46 - 47				
47 - 48				
48 - 49				
49 - 50				

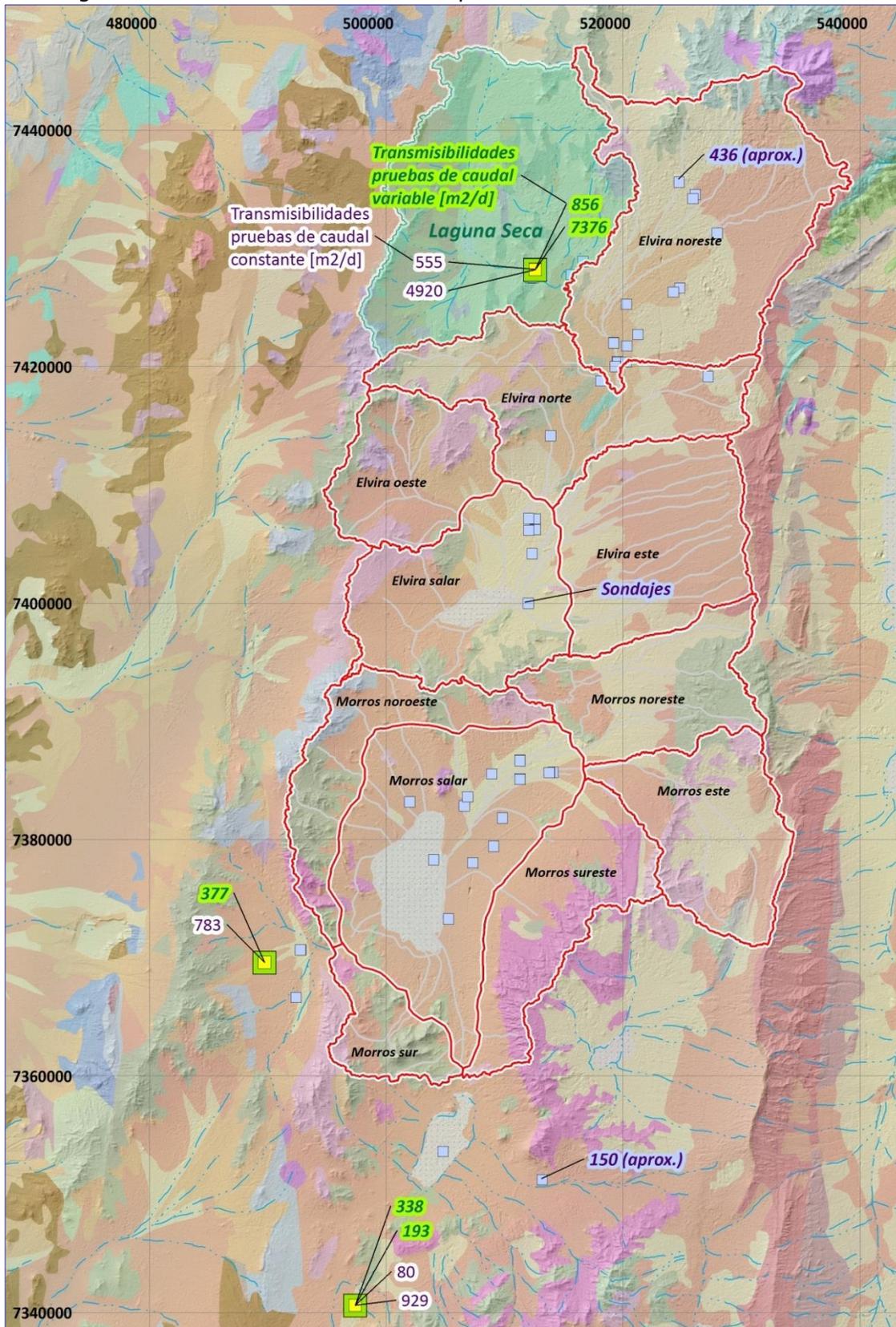
Figura 9.2-30. Expediente NE-0203-1525 Pozo RHE-99-5



9.2.6.1 Parámetros elásticos

Se buscó la información de permeabilidades, transmisibilidades y pruebas de bombeo entre los antecedentes disponibles. No se cuenta con datos de pruebas en las cuencas estudiadas. Sólo se tienen datos en puntos cercanos ubicados en el entorno de las cuencas estudiadas. En la Figura 9.2-31 se muestran las transmisibilidades determinadas con esos datos.

Figura 9.2-31. Transmisibilidades en pozos cercanos a la zona de estudio



9.2.7 Sectorización definitiva

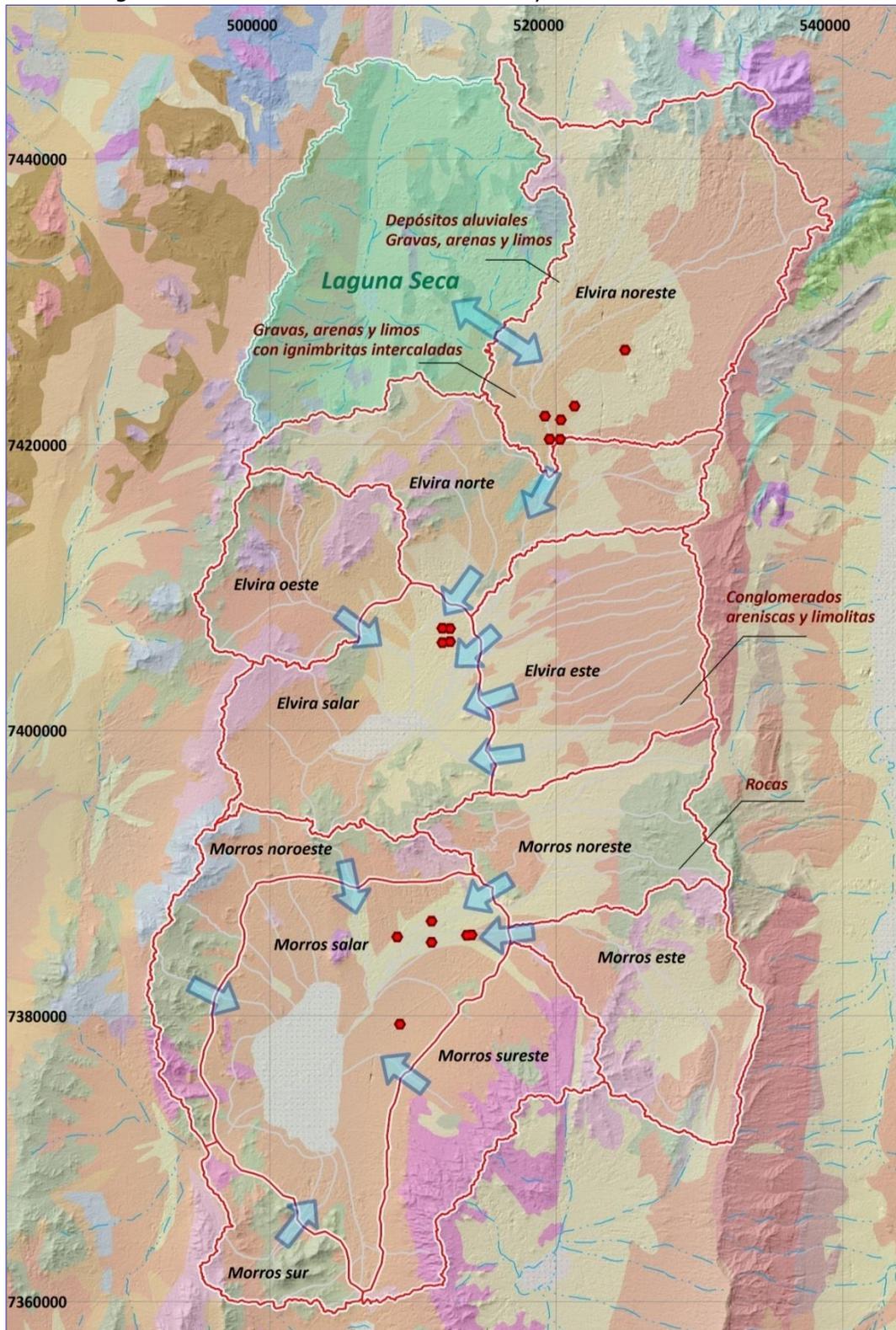
En el informe¹³, se establece que el efecto del bombeo sobre los niveles en las distintas áreas de la zona de estudio es sólo local, ya que donde se bombea los niveles descienden, pero su efecto no se expande más allá. En particular, en la cuenca del Salar Elvira, el bombeo en el sector Mariposas, al Norte, no alcanza el área Sur, y por el contrario, en el sector Sur, los descensos previstos son menores que los que se había estimado originalmente.

Lo indicado refuerza la conclusión de que la operación histórica de los pozos (Pampa Elvira desde 2007 y Los Morros en fase pre-bombeo), no influye en la sectorización; debido a ello entonces, la sectorización preliminar es adecuada como sectorización definitiva. En la Figura 9.2-32 se presenta la sectorización señalada.

El producto final de esta etapa es una cobertura que incluye los polígonos de cada sub-sector acuífero definitivo (Sectores_definitivos.shp).

¹³ "Diagnóstico y sistematización de información de planes de alerta temprana vigentes con condicionamiento de derechos" (DGA, 2014)

Figura 9.2-32. Sectorización definitiva y vínculos entre sectores



9.2.8 Vínculos

9.2.8.1 Flujos pasantes

Los sectores definitivos definidos están relacionados por flujos de entrada y salida, superficiales y subterráneos. En la Figura 9.2-32 (página anterior) se muestran los sentidos del flujo que relacionan cada sector con los que se ubican aguas abajo de éstos.

El vínculo descrito en el punto de formaciones acuíferas, entre la cuenca de Laguna Seca y el sector Elvira noreste, depende de los niveles de extracción en ambas zonas.

Los productos aquí son la delimitación de la cuenca de Laguna Seca (Cuenca_Laguna_Seca.shp) y los sentidos de los flujos que vinculan los sectores acuíferos definidos (Vínculos.shp).

9.2.8.2 Divisoria entre cuencas Elvira y Los Morros

La divisoria hidrológica entre las cuencas de los salares Elvira y de Los Morros está constituida, en gran parte por los puntos altos, que coinciden con unidades geológicas de roca. La porción de la divisoria, que coincide depósitos aluviales (entre sectores Elvira este y Morros noreste), se encuentra a más de 10 km de las zonas de extracción, por lo tanto, se descarta que esa línea pueda sufrir los efectos dinámicos de la extracción.

9.2.8.3 Calidad físico-química del agua

Se cuenta con algunos análisis de calidad del agua (ver Certificados de Análisis 7-1 a 7-8 del Anexo N°7), de los que es posible concluir que el agua subterránea en el área de estudio es a lo menos salobre. Para visualizar espacialmente la calidad físico-química del agua, se ha analizado el parámetro de conductividad eléctrica; en la Figura 9.2-33 se muestran los valores de conductividad eléctrica medidos, que se pudieron obtener de los expedientes.

El mínimo valor de conductividad eléctrica medido en las cuencas estudiadas es de 41000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (41 mS/cm en Figura 9.2-31). Hacia el oeste de las cuencas de Elvira y Los Morros, los valores son un poco menores (~ 13 mS/cm, ver Figura 9.2-31), pero un orden de magnitud superiores a los valores de conductividad del agua dulce.

Se analizó en detalle la calidad físico-química del agua, porque en el sistema estudiado es muy relevante y condiciona el aprovechamiento del recurso hídrico. En ese sentido, ésta podría resultar determinante para la sectorización, aunque la sectorización adoptada es consistente con los datos de calidad físico-química del agua subterránea.

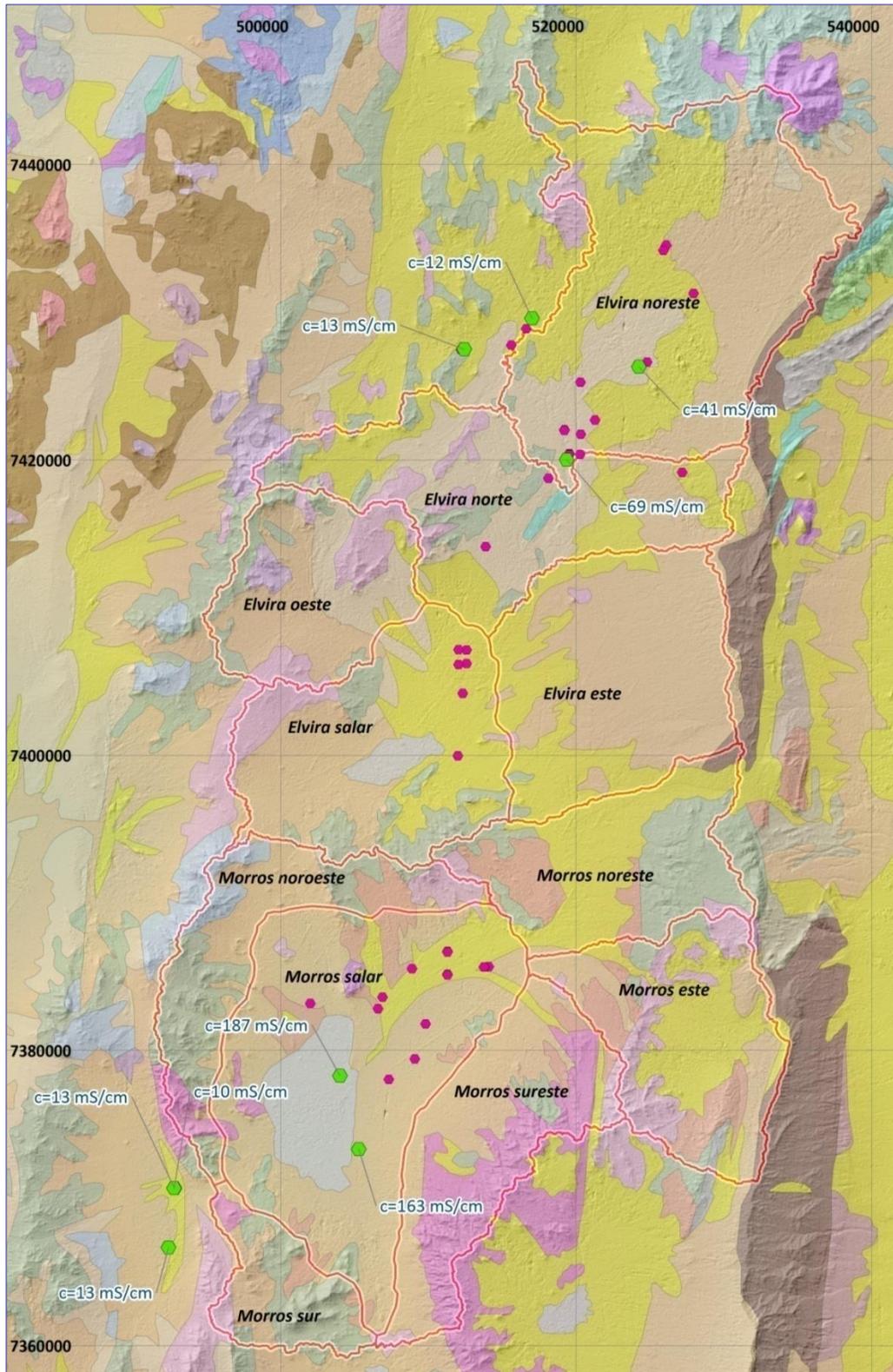
Los productos digitales de esta etapa son:

- a) Una cobertura de puntos que muestra las ubicaciones de los sondajes con muestras de calidad analizadas y que incluye los valores de conductividad medidos (análisis_fco_qcos.shp).
- b) Los certificados de análisis físico-químicos de aguas subterráneas. Éstos se han incluido en un documento pdf (Imágenes.pdf).

9.2.8.4 Zonas sensibles o protegidas

En las cuencas de los salares Elvira y de Los Morros no existen áreas protegidas o con restricciones de tipo ambiental.

Figura 9.2-33. Conductividades eléctricas medidas en el área de estudio (mS/cm=miliSiemens/cm=1/1000 μ S/cm)



9.2.9 Proyecto SIG y respaldo digital Elvira-Los Morros

Las coberturas (shapes) y planos (*.dwg) se encuentran en la carpeta "Respaldo_digital". El archivo "EM.mxd", incluido en la carpeta "Respaldo_digital", contiene referencias relativas a las coberturas y planos, que están en la carpeta "EM", la que a su vez, se encuentra en la misma carpeta "Respaldo_digital".

Por consiguiente, para acceder a la información, se debe hacer lo siguiente:

a) Copiar la carpeta "Respaldo_digital" en el disco duro de un computador que tenga instalado ARCGIS v9.3 o superior.

b) Desde el interior de la carpeta "Respaldo_digital", seleccionar "EM.mxd" y hacer doble click (abrir). Se desplegará el proyecto ARCGIS con toda la información asociada a la sectorización de la zona de los salares Elvira y de Los Morros.

Se usó ARCGIS v10.1 para crear el archivo mxd, no obstante, el proyecto "EM.mxd", se generó en el formato ARCGIS v9.3, para permitir su acceso en las versiones 9.3 o superiores.

La carpeta "EM" contiene la siguiente información:

Paso		Productos digitales
1	Identificación de Zona de Estudio	Archivo AutoCAD que incluye el rectángulo que define el área de estudio y los textos con las coordenadas de los vértices del rectángulo (ZE_Salares.DWG).
2	Base topográfica	Ráster ASTER del área de interés (aster).
3	Red de drenaje	a) Delimitación de las cuencas (subcuencas.shp) b) Red de drenaje (drenaje.shp).
4	Sectorización preliminar	El producto final de este paso es una cobertura que incluye los polígonos de cada sector acuífero preliminar (sectores_preliminares.shp). Además se agregó un archivo AutoCAD con los nombres adoptados para cada sector (sectores_preliminares.dwg).
5	Hidrogeología	
5.1	Geología	Cobertura de polígonos que incluye las unidades geológicas (geología.shp).
5.2	Formaciones acuíferas	a) Cobertura de puntos con los sondajes perforados (Perforaciones.shp). Incluye los sondajes construidos para extracción de agua subterránea y los que se usan para monitoreo.
		b) Coberturas de puntos con las estaciones gravimétricas y los TEMs, en el área de estudio (grav.shp y tems.shp).
		c) Las imágenes con los perfiles gravimétricos, perfiles TEM y columnas estratigráficas incluidas en el presente informe. Las imágenes se han incluido en un documento pdf (Imágenes.pdf).
5.3	Calidad físico-química del agua	a) Cobertura de puntos que muestra las ubicaciones de los sondajes con muestras de calidad analizadas y que incluye los valores de conductividad medidos (análisis_fco_qcos.shp).
		b) Los certificados de análisis físico-químicos de aguas subterráneas. Éstos se han incluido en documento en formato pdf (Imágenes.pdf).
6	Captaciones de agua subterránea	Cobertura de puntos con las captaciones correspondiente al listado de derechos. Forma parte de la cobertura de sondajes perforados, listada anteriormente. (Perforaciones.shp).
7	Sectorización definitiva	Cobertura que incluye los polígonos de cada sub-sector acuífero definitivo (sectores_definitivos.shp). Es idéntica a la cobertura de sectores preliminares (sectores_preliminares.shp).
8	Vínculos	Coberturas de polígonos, con la delimitación de la cuenca de Laguna Seca (Cuenca_Laguna_Seca.shp) y con los sentidos de los flujos que vinculan los sectores acuíferos definidos (Vínculos.shp).

10 RECONOCIMIENTO EN TERRENO DE LAS CUENCAS SECTORIZADAS

Se realizaron recorridos por los sectores estudiados y se eligieron puntos representativos desde los que se sacaron fotografías. Para cada punto se definió un sentido preferencial de acuerdo al emplazamiento del área, según criterios hidrológico e hidrogeológico (visualización de cuenca, cauces, formaciones geológicas, etc.). En cada sitio se sacaron 4 fotos, la primera en el sentido preferencial descrito, las 3 restantes, girando 90° desde la primera, según la rotación de los punteros del reloj.

En el Anexo N°8 se presentan las imágenes obtenidas en las visitas a terreno a las zonas de Pan de Azúcar y Elvira-Los Morros.

11 MANUAL DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DELIMITACIÓN Y SECTORIZACIÓN DE ACUÍFEROS

Se ha desarrollado un Manual de Aplicación de la Metodología de Delimitación y Sectorización de Acuíferos, que detalla la secuencia de etapas a seguir, en función de la información disponible en la cuenca de interés, así como los productos que se deben ir generando en el proceso.

Este manual, que se presenta en el Apéndice, una vez aprobado por la DGA, podrá ser incluido en el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos de esta Dirección.

12 CONCLUSIONES

Se ha desarrollado el presente trabajo con el objetivo de generar una metodología de carácter científico técnico y de aplicación institucional para delimitar acuíferos y sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común.

Para ello, se realizó una exhaustiva revisión de antecedentes que permitió determinar cuáles son los principales criterios utilizados para delimitar y sectorizar acuíferos, tanto a nivel nacional como internacional.

A nivel nacional, se utilizan criterios técnicos y administrativos, siendo la base los primeros, la sectorización hidrogeológica a partir de la red de drenaje superficial y agregando en los casos que se dispone de información, antecedentes de geofísica, de barreras hidrogeológicas como afloramientos del basamento en sectores específicos y antecedentes de calidad de aguas, entre otros.

A nivel internacional, los criterios generales son similares, aunque en algunos países como en España se utilizan la división del territorio en sistemas acuíferos, basados en el funcionamiento de los mismos y para ello se le ha dado especial importancia a la información geológica.

Se ha realizado un FocusGroup con un grupo de expertos en recursos hídricos, tendiente a determinar, entre otras cosas, cuáles son las variables más relevantes que debieran considerarse en la sectorización acuífera y como compatibilizar los criterios técnicos con los administrativos en la definición de sectores acuíferos.

Entre las conclusiones de dicha actividad, se determinó que la metodología a definir debiera considerar lo siguiente:

- El nivel de información disponible en cada cuenca o sector específico.
- La relación entre aguas superficiales y subterráneas.
- El nivel de explotación del acuífero.
- Los límites naturales existentes, constituidos por los sectores de afloramientos.
- Las necesidades de sectorización para gestión de derechos de aprovechamiento (cambios de puntos de captación, definición de áreas de restricción, etc.).
- La flexibilidad necesaria para redefinir sectorizaciones si es necesario, al modificarse por ejemplo el nivel de información en un determinado sector.
- Todos los aspectos técnicos que puedan aportar, no solo la visión de la ingeniería, sino también la de la geología y otras áreas.

Otro punto relevante que se trató en el FocusGroup fue la dificultad que se produce actualmente al aplicar el concepto de Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común, que genera una discrepancia entre lo técnico y lo administrativo ya que según la definición de dicho concepto, en la práctica no es usual encontrar dicha supuesta independencia hidrogeológica. A raíz de ello, el consultor propuso a la DGA, para su evaluación, el uso de un concepto complementario, el sector hidrogeológico de aprovechamiento compartido, que considera la vinculación hidrogeológica entre sectores contiguos y que permitiría resolver el problema señalado previamente.

El trabajo realizado ha permitido proponer una metodología de sectorización y delimitación de acuíferos a nivel nacional, que ha sido desarrollada considerando los objetivos planteados y que tiene la particularidad de ser modular y adaptable a los diferentes niveles de información que se pueda tener en sectores donde se la vaya a aplicar.

Se ha desarrollado la sectorización para dos cuencas que fueron definidas por la Dirección General de Aguas, ellas son: la cuenca de Culebrón – Lagunillas, o Valle de Pan de Azúcar, en la Región de Coquimbo y la cuenca Gaby – Los Morros, o salares Elvira y Los Moros, en la Región de Antofagasta, siguiendo la metodología propuesta.

Los procedimientos presentados, son el resultado de la aplicación de la metodología de sectorización acuífera. Dicha aplicación corresponde a un ejercicio para validar la metodología propuesta en las 2 cuencas mencionadas, que fueron seleccionadas por la DGA. Con ello, no se pretende que las sectorizaciones obtenidas sean o reemplacen las delimitaciones que actualmente pueda tener la DGA.

Por consiguiente, es necesario enfatizar que los resultados obtenidos, por ningún motivo, deben ser considerados como una nueva sectorización de la DGA y sólo corresponden a ejercicios o ejemplos de la metodología desarrollada.

Se hizo un reconocimiento en terreno de las cuencas que han sido sectorizadas, lo que se ha documentado con fotografías que se presentan en el Anexo N°8.

La información hidrogeológica utilizada y la aplicación de la metodología han permitido definir una sectorización definitiva para cada caso, las que al agregar la identificación de elementos vinculantes, como son: los flujos pasantes, los niveles de explotación, los antecedentes de calidad de aguas y las áreas de protección o ambientalmente sensibles definidas para el territorio nacional, han permitido establecer lo siguiente:

En el caso de Pan de Azúcar, los niveles de explotación han generado descensos de la napa que han obligado a modificar la sectorización definida preliminarmente, ajustando los límites de cada sector a partir de dichos antecedentes.

En el caso de los salares Elvira y Los Morros, la información de calidad de aguas es una variable muy importante y en este caso ha permitido ratificar que la sectorización establecida es válida, a pesar de las condiciones distintas de calidad observadas en cada sector acuífero.

Finalmente, se ha desarrollado un manual de aplicación de la metodología propuesta, el que se presenta en el Apéndice de este Informe.

Santiago, Octubre de 2014.