



INFORME FINAL

FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO PARA EL PARQUE NACIONAL NEVADO DE TRES CRUCES Y SITIO RAMSAR COMO MECANISMO DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO, A PARTIR DE UN MODELO CONCEPTUAL INTEGRADO PARA LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL SALAR DE MARICUNGA Y EL NEGRO FRANCISCO

VERSIÓN 1



Abril 2014



EQUIPO PROFESIONAL	TITULOS Y/O GRADO	FUNCION
Manuel Contreras	Biólogo, PhD, MSc	Director Proyecto
Carolina Meruane	Ingeniera Civil, PhD	Jefe de Proyecto
María del Mar Bustos	Ingeniera Civil	Ingeniero de Proyecto
Felipe Cerda	Geógrafo (e)	Geógrafo



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	6
1.1	Zona de estudio	6
1.2	Objetivos del proyecto	9
1.2.1	Objetivo general	9
1.2.2	Objetivos específicos.....	9
1.3	Enfoque para el desarrollo del estudio.....	10
2	LÍNEA BASE	13
2.1	CATASTRO DE INFORMACIÓN	13
2.1.1	Objetivos	13
2.1.2	Metodología	13
2.1.3	Estaciones de medición de la DGA	16
2.1.4	Proyectos actuales y futuros	23
2.1.5	Derechos de agua identificados en el área de modelación.....	30
2.1.6	Derechos de agua afectos al pago de patente por no uso en la zona de modelación: Escenario actual	33
2.1.7	Derechos de agua para la condición potencial: Escenario futuro potencial .	36
2.2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	38
2.2.1	Objetivos.....	38
2.2.2	Metodología	38
2.2.3	Áreas protegidas en la zona de estudio.....	38
2.2.1	Geomorfología regional.....	39
2.2.2	Clima y meteorología.....	40
2.2.3	Hidrografía	64
2.2.4	Fluviometría	71
2.2.1	Geología	76
2.2.2	Hidrogeología	76
2.2.3	Hidroquímica.....	93
2.2.4	Biota.....	99
2.3	ESTUDIO DEL CAMBIO TEMPORAL EN LA COBERTURA ESPACIAL DE LOS HUMEDALES.....	109
2.3.1	Objetivos	109
2.3.2	Metodología	109
2.3.3	Resultados.....	117
3	CONCEPTUALIZACIÓN.....	146
3.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS HUMEDALES EN LA ZONA DE ESTUDIO	146
3.1.1	Objetivos	146



3.1.2	Metodología	146
3.1.1	Humedales altoandinos	146
3.1.1	Sistema de lagunas terminales altiplánicas	147
3.1.2	Sistema de canales altiplánicos	150
3.1.3	Relación entre salinidad y tipo de sistema en la zona de estudio.....	154
3.2	MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA PRELIMINAR.....	159
3.2.1	Objetivos	159
3.2.2	Antecedentes teóricos	159
3.2.3	Metodología	160
3.2.1	Resultados	166
3.2.2	Conclusiones	170
4	PROPUESTA DE UN PLAN DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO	173
4.1	Red de monitoreo atmosférico	174
4.2	Red de monitoreo del nivel del agua subterránea	176
4.3	Red de monitoreo asociado al control de la salinidad de los sistemas.	177
4.4	Red de monitoreo de calidad de aguas	179
4.4.1	Métodos de muestreo de agua superficial	180
4.4.2	Medición de parámetros in situ	180
4.4.3	Toma de muestras para análisis físico-químicos.....	180
4.4.4	Toma de muestras para nutrientes nitrogenados y fosforados	181
4.4.5	Toma de muestras para el análisis de metales	181
4.4.6	Transporte de muestras al laboratorio	181
4.4.7	Análisis de las muestras.....	182
4.5	Red de monitoreo de sistemas vegetacionales azonales.....	183
4.5.1	Monitoreo de Flora y Vegetación	184
4.5.2	Caracterización y variables hídricas del suelo.....	185
4.5.3	Monitoreo de calidad de suelos	185
4.5.4	Caracterización y variables ecofisiológicas en plantas	185
5	REFERENCIAS.....	187
6	ANEXOS.....	192
6.1	Datos Meteorológicos DGA	192
6.2	Proyectos Mineros Aprobados en el SEIA en la provincia de Copiapó y Chañaral 195	
6.3	Geología SERNAGEOMIN	197
6.4	Resumen de estudios hidrogeológicos informados en estudios de impacto Ambiental	201



6.5	Datos del estudio de Evaluación Ambiental del Proyecto Lobo-Marte.....	205
6.5.1	Datos Meteorológicos.....	205
6.5.2	Datos Fluviométricos.....	216
6.5.3	Información Estudio Hidrogeológico Lobo Marte.....	218
6.6	Datos del estudio de Evaluación Ambiental del Proyecto Minero Volcán	228



1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca en el estudio “Formulación de un Plan de Monitoreo y Seguimiento para el Parque Nacional Nevado de Tres Cruces y Sitio Ramsar como Mecanismo de Adaptación al Cambio Climático, a partir de un Modelo Conceptual Integrado para las Cuencas Hidrográficas del Salar de Maricunga y el Negro Francisco”, encargado por el Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile al Centro de Ecología Aplicada Ltda.

1.1 Zona de estudio

En las Figura 1.1 y Figura 1.2 se presenta la zona de estudio, la cual corresponde al Parque Nacional Nevado de Tres Cruces y Sitio Ramsar en las cuencas hidrográficas del Salar de Maricunga y el Negro Francisco.

El Parque Nacional Nevado de Tres Cruces se ubica a 200km al este de la ciudad de Copiapó, en la Región III de Atacama (Figura 1.1). Este parque se divide en 2 áreas, una que se encuentra al norte (Sector 1 según plan de manejo CONAF, 1997) y pertenece a la comuna de Copiapó, y otra que se encuentra al sur quedando casi completamente en la división administrativa de la comuna de tierra amarilla (Sector 2). Al Sector 1 del parque pertenece la laguna Santa Rosa, la cual se encuentra en el extremo sur del Salar de Maricunga, con una superficie de 46944.37 ha y una altura de 3700 msnm. Al Sector 2 del parque, por otra parte, pertenece el salar del Negro Francisco y la desembocadura del río Astaburuaga, el cual abarca 12137.50 ha (CONAF, 1997) encontrándose a una altura de 4100 msnm (Figura 1.2).

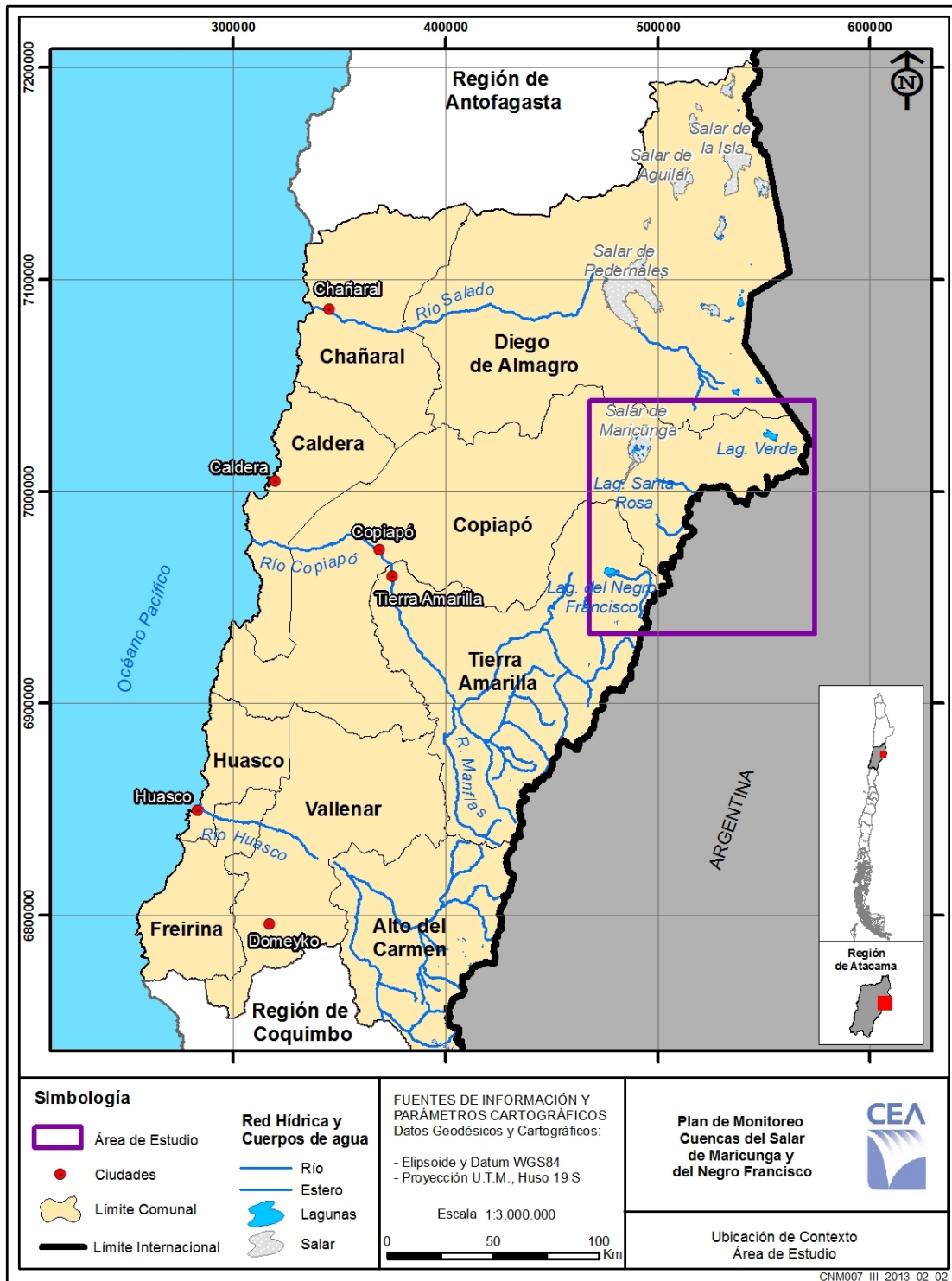


Figura 1.1: Región de Atacama, indicando la ubicación de la zona de estudio.

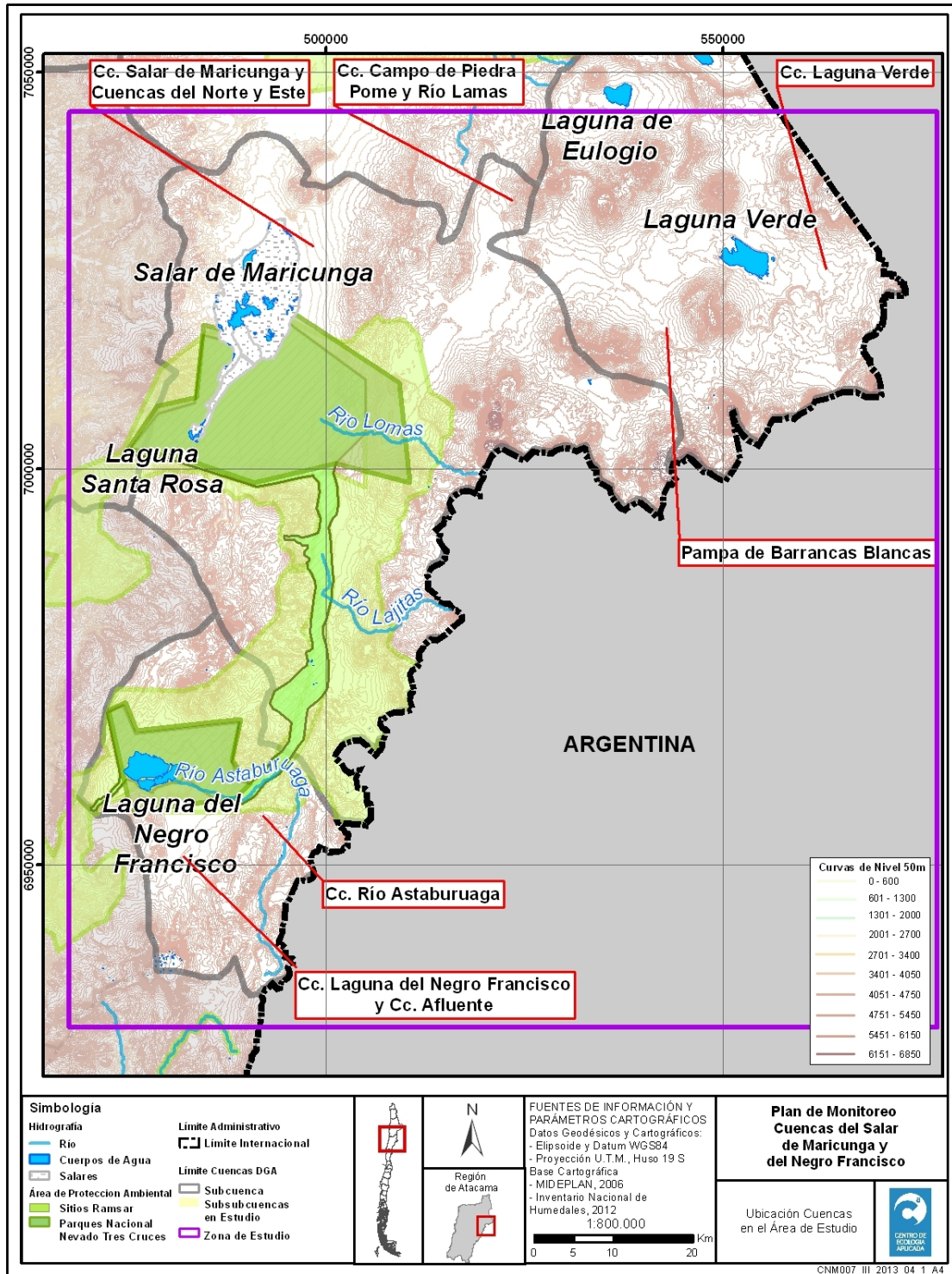


Figura 1.2: Zona de estudio. Parque Nacional Nevado de Tres Cruces y Sitio Ramsar en las cuencas hidrográficas del Salar de Maricunga y el Negro Francisco.



1.2 Objetivos del proyecto

1.2.1 Objetivo general

Proponer un Modelo Conceptual Integrado, de los humedales del Parque Nacional Nevado de Tres Cruces – Sitio Ramsar, de las Cuencas hidrográficas del Salar de Maricunga y Negro Francisco, enfocado en la generación de información base sobre el estado actual de los recursos hídricos y los ecosistemas que los contienen, para la definición de un plan de seguimiento y monitoreo que permita la adaptación al cambio climático.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Recopilar y analizar información disponible, sobre los aportes y demandas hídricas de la zona y su relación con la componente biótica, tanto acuática como azonal, necesaria para poner en funcionamiento un sistema de monitoreo de los sistemas de humedales presentes en el Parque Nacional Nevado de Tres Cruces – Sitio Ramsar, en el contexto de la Cuencas hidrográficas del Salar de Maricunga y Negro Francisco.
2. Obtener información de línea de base en la escala sitio específico, caracterizando la estructura, procesos y funciones de los humedales, como una forma de implementar acciones tempranas de monitoreo y seguimiento.
3. Implementar un modelo hidrogeológico preliminar que contemple todos los aportes y demandas hídricas de la zona. A partir de este modelo preliminar, identificar la información relevante de levantar para mejorar la representación hidrogeológica del sistema.
4. Proponer un programa de monitoreo aplicado especificando los parámetros a monitorear, los puntos de muestreo, la frecuencia de muestreo, las metodologías y técnicas de medición.
5. Proponer una metodología de análisis integrado basada en la combinación entre monitoreo y modelación numérica, como herramientas complementarias para el análisis y seguimiento de los humedales.
6. Preparar un programa de capacitación para los actores relevantes para llevar a cabo el Plan de monitoreo y seguimiento de humedales en el Parque Nacional Nevado de Tres Cruces – Sitio Ramsar, en el contexto de la Cuencas hidrográficas del Salar de Maricunga y Negro Francisco.
7. Presentación y validación del Proyecto Plan de monitoreo y seguimiento de Humedales Alto andinos para el Parque Nacional Nevado de Tres Cruces – Sitio Ramsar, en el contexto de la Cuencas hidrográficas del Salar de Maricunga y Negro Francisco.

1.3 **Enfoque para el desarrollo del estudio**

Para lograr los objetivos recién planteados, el trabajo se divide en 3 líneas de trabajo, las cuales se desarrollan en capítulos separados dentro de este informe. El esquema conceptual de la Figura 1.3 presenta el funcionamiento de estas líneas de trabajo, las cuales corresponde a:

1. **Línea base:** esta etapa se relaciona con el primer objetivo específico, en donde a se elaborará un catastro de las demandas hídricas, tanto superficiales como subterráneas, de las estaciones de fluviométrica, de calidad de aguas y meteorológicas. También, se estudiará la evolución en la cobertura espacial de los humedales a través del análisis de imágenes satelitales Landsat. Finalmente, a partir de una revisión bibliográfica de estudios previos se elaborará una caracterización climatológica, hidrológica e hidrogeológica del área de estudio
2. **Conceptualización:** esta etapa corresponde al segundo y tercer objetivo específico, en donde a partir de la línea base generada en la etapa anterior, se elaborará un una ddescripción del comportamiento termohidrodinámico y ecosistémico de los humedales en la zona de estudio. También, se implementará un modelo hidrogeológica preliminar de las cuencas hidrográficas del Salar de Maricunga y Negro Francisco, considerando todos los aportes y demandas hídricas.
3. **Programa de seguimiento:** esta etapa corresponde los cuatro últimos objetivos específicos, en donde a partir de la caracterización termohidrodinámica y ecosistémica de los humedales y de la los resultados de la modelación numérica, se propondrá un programa de monitoreo, especificando los parámetros a monitorear, los puntos de muestreo, la frecuencia de muestreo, las metodologías y técnicas de medición. Este programa se basará en una metodología de análisis integrado basada en la combinación entre monitoreo y modelación numérica, como herramientas complementarias para el análisis y seguimiento de los humedales. Finalmente, los avances y resultados obtenidos en este estudio, serán difundidos a la comunidad y autoridades mediante talleres, los cuales serán coordinados de manera conjunta con el Ministerio del Medio Ambiente.

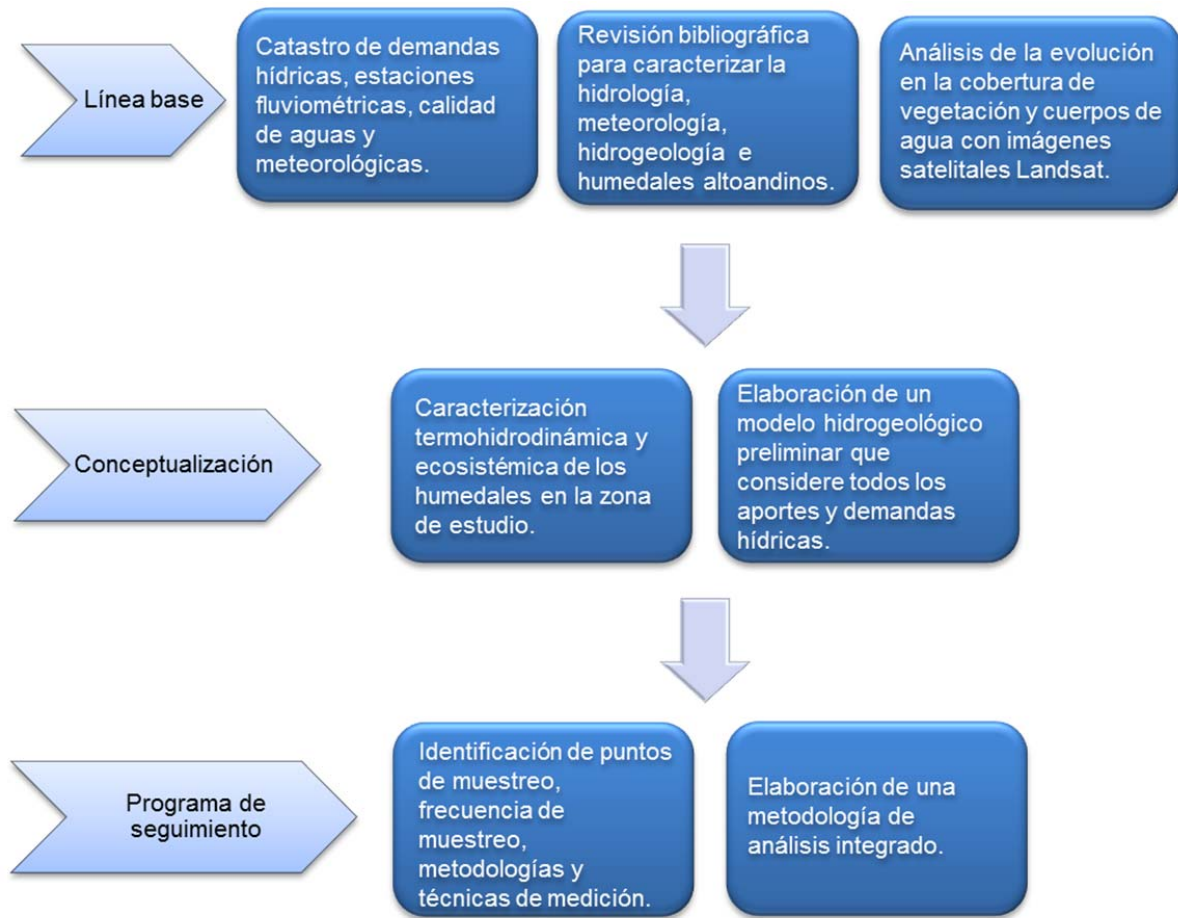


Figura 1.3: . Esquema conceptual indicando las principales etapas para el desarrollo del estudio.



LÍNEA BASE



2 LÍNEA BASE

2.1 CATASTRO DE INFORMACIÓN

En esta sección elabora un catastro de las demandas hídricas, tanto superficiales como subterráneas, de las estaciones de fluviométrica, de calidad de aguas y meteorológicas ubicadas en la zona de estudio.

2.1.1 Objetivos

Objetivo general

El objetivo principal a cumplir corresponde a la generación de un catastro de información sobre una plataforma SIG, que contenga toda la información relacionada con la ubicación de los derechos de agua, de las estaciones fluviométricas, calidad de aguas y meteorológicas ubicadas en la zona de estudio.

Objetivos específicos

1. Recopilar toda la información disponible relacionada las estaciones de medición fluviométricas, de calidad de aguas y meteorológicas presentes en la zona de estudio.
2. Recopilar toda la información las prospecciones mineras entregadas en las cercanías de la zona de estudio
3. Recopilar toda la información existente relacionada con la información de derechos de agua otorgados y en vías de resolución, superficiales y subterráneos, consuntivos y no consuntivos.
4. Identificar los pozos actualmente operativos en el dominio de la modelación hidrogeológica y que definirán el escenario actual de modelación.
5. Identificar los pozos que pueden operar en el futuro y que definirán la condición potencial de modelación.
6. Codificar la información y ordenarla en un proyecto SIG, indicando las principales características de cada punto.

2.1.2 Metodología

Estaciones de medición de la DGA: Se revisó la información disponible online en la página de la DGA para obtener la ubicación de las estaciones de medición fluviométricas y meteorológicas presentes en la zona de estudio, y por medio de la página de atención ciudadana se solicitaron todos los registros climáticos, fluviométricos e hidroquímicos de las estaciones cercanas (solicitudes OIRS N°29721 del 26 dic. 2012, N°30797 16 ene. 2013, N°29734 del 26 dic.2012).

Prospecciones mineras: Con el objetivo de conocer las prospecciones mineras entregadas en las cercanías de la zona de estudio, se realizó una consulta a SERNAGEOMIN a través de la página web del Sistema de Atención Ciudadana (AS004W-0000157, 26 dic. 2012). La respuesta indicó que las prospecciones mineras se encuentran identificadas a través del catastro online de este servicio.

Proyectos mineros: De la página del SEIA se obtuvo una planilla con la información de todos los proyectos de la región de Atacama. En dicha planilla se presenta la información según los siguientes campos: Nombre (del proyecto), Tipo (de evaluación ambiental), Región, Tipología (según la división de tipo de proyecto del SEIA), Titular, Inversión (MMU\$), Fecha presentación, Estado, Fecha calificación y Sector productivo. Se completó la información con la descripción del proyecto, las coordenadas referenciales de ubicación del proyecto, datum, provincia y comuna. Esto se hizo en primer lugar para los proyectos mineros que se encuentran en proceso de calificación ambiental y luego para los que estén aprobados. Se evaluó la ubicación de los proyectos que se encuentran en la comuna de tierra amarilla y en la comuna de Copiapó que podrían encontrarse en las cercanías del Parque Nevado de Tres Cruces o en las cuencas cercanas. Se seleccionarán los proyectos de interés, los que se describen brevemente, agrupando aquellos proyectos que corresponden a la continuación de proyectos evaluados anteriormente por el SEIA.

Se identificaron aquellos proyectos que tienen estudios de elementos bióticos y abióticos en la zona de estudio y que pueden aportar a la caracterización del sistema.

Derechos de agua otorgados en la zona de estudio: Con el objetivo de conocer las demandas hídricas, se solicitó información sobre los derechos de agua otorgados y en vías de resolución, superficiales y subterráneas, consuntivos y no consuntivos, con sus caudales de extracción y sus coordenadas de extracción, dentro del polígono definido por las coordenadas de la Tabla 2.1 (solicitudes OIRS DGA N°29297 del 17 dic. 2012 y N°30845 del 16 ene. 2013).

Tabla 2.1:Coordenadas UTM del Polígono asociado a la información solicitada sobre derechos de agua otorgados y en vías de resolución, superficiales y subterráneos, consuntivos y no consuntivos.

Vértice	Norte WGS 84 (m)	Este WGS 84 (m)
1	7100620	405606
2	7100620	577856
3	6897868	577856
4	6897868	405606

Utilizando las coordenadas de los puntos de captación de los derechos de aguas se identificaron los pozos de extracción que se encontraban dentro del dominio de la modelación hidrogeológica, esta área corresponde a las cuencas de río la Ola, Salar de Maricunga, Piedra Pómez, Pampa de Barrancas Blancas, Laguna del Negro Francisco y río Astaburuaga, lo que se explica con mayor detalle en el capítulo de modelación hidrológica.



Derechos de agua operativos en la zona de Interés: La información de los pozos que se encuentran dentro de las cuencas de modelación hidrogeológica, determinada en el punto anterior, fue analizada por la unidad de fiscalización de la DGA central, quienes indicaron cuáles de estos derechos pagaron patentes por no utilización del agua según el listado vigente para el año 2013 (situación registrada el año 2012). Aquellos pozos que pagan patente no estarían utilizando su derecho de agua así que se consideran “No operativos”. Todos aquellos derechos que no pagaron patentes en el listado del año 2013 se considerarían operativos. Este listado de pozos operativos fue examinado por la SEREMI de MMA de la región de Atacama y por la DGA Regional de esa misma región, quienes determinaron finalmente cuál es el listado de pozos operativos utilizado en la modelación hidrogeológica de la condición actual de la zona de estudio.

Derechos de agua para la condición potencial: A través de una plataforma de información geo-referenciada se cruzó la ubicación de los proyectos mineros identificados en la zona de estudio con los derechos de agua subterráneos otorgados dentro de las cuencas donde se realizaría la modelación. Utilizando los documentos disponibles en la página de SEIA para los proyectos (EIA, DIA, Adendas, RCA) se identificó a qué proyecto correspondía cada pozo de extracción.

Los derechos de agua que no se encuentran actualmente en uso, según el listado de patentes 2013 (pagan patentes por no utilización de las aguas), pero que pertenecen a proyectos con resolución de calificación ambiental (RCA) aprobada o en tramitación, son considerados como pozos que podrían ser explotados en el futuro de modo que son parte de la situación potencial para el modelo hidrogeológico. Los pozos que no poseen una RCA aprobada o en tramitación no pueden ejercer el uso de sus derechos, así que se consideraron fuera de la condición potencial.

2.1.3 Estaciones de medición de la DGA

En la página de la DGA se informa sobre las estaciones fluviométricas, meteorológicas, de calidad química y pozos que tiene la DGA en la zona. Se distingue entre estaciones vigentes y estaciones suspendidas. A continuación se entrega una descripción de todas las estaciones en la zona de estudio.

2.1.3.1 Estaciones meteorológicas

La información disponible online de las estaciones meteorológicas DGA más cercanas al parque Nevado de Tres Cruces que están en estado vigente se presenta en la Tabla 2.2. Se distingue entre estaciones vigentes y suspendidas, en la respuesta N°29721 la DGA informa que para las estaciones suspendidas cercanas al área de estudio (Reten Maricunga, Azufrera Codocedo y Campamento Flamenco) no se tiene información en sus registros.

Tabla 2.2: Estaciones de Meteorológicas No suspendidas cercanas al Parque Nevado de Tres Cruces

ESTACIONES METEOROLOGICAS				
Código BNA	03441001-1	03404002-8	03210001-5	03414002-2
Nombre Estación	PASTOS GRANDES	JORQUERA EN LA GUARDIA	LAS VEGAS	IGLESIA COLORADA
Altitud	2260	2000	2250	1550
Vigencia	VIGENTE	VIGENTE	VIGENTE	VIGENTE
Fecha Inicio	31-jul-66	30-sep-66	31-dic-83	31-may-88
Tipo	T01	T01	T01	T07
UTM Este	443874	425446	433572	413310
UTM Norte	7000412	6920311	7048666	6884686
Código SubSubcuenca	3441	3404	3210	3414
Provincia	Copiapó	Copiapó	Chañaral	Copiapó
Comuna	Copiapó	Tierra Amarilla	Diego De Almagro	Tierra Amarilla

Las estaciones meteorológicas de la DGA que se encuentran vigentes están por debajo de la altitud 2300 msnm, la zona de estudio en cambio está por sobre los 3700 msnm, de modo que las estaciones meteorológicas disponibles no representan de buena manera la zona de estudio (Figura 2.1). Además, la DGA informó que “las estaciones Jorquera en la Guardia, Pastos Grandes y Las Vegas sólo cuentan con pluviómetro” de modo que no se tienen registros en estaciones cercanas a la zona de estudio y los parámetros medidos son insuficientes.

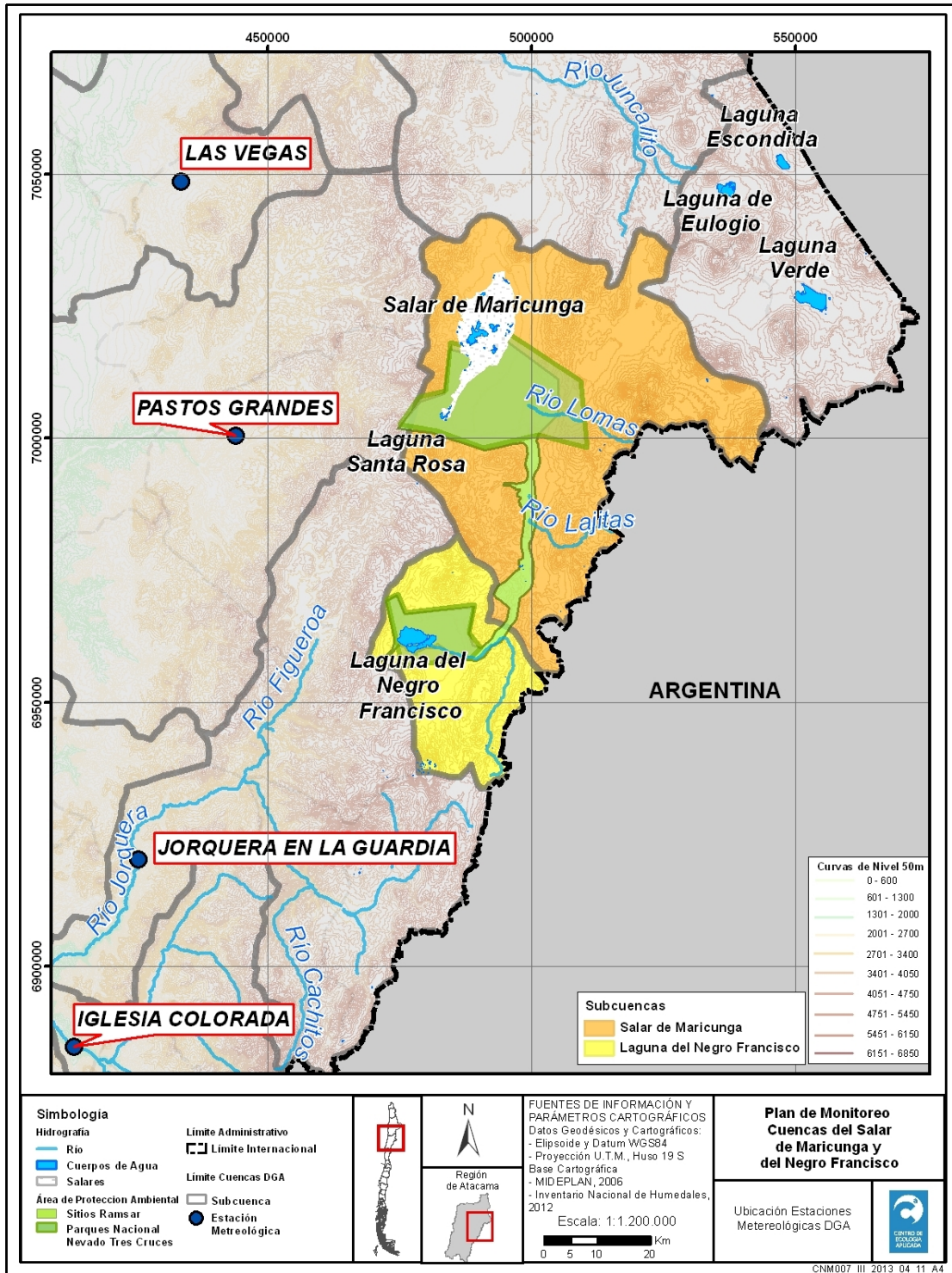


Figura 2.1: Estaciones meteorológicas de la DGA cercanas a la zona de estudio.

La DGA informó que las estaciones meteorológicas se visitan trimestralmente, donde se realiza mantención de instrumentación y recolección de datos de observadores. El listado de instrumentos por estación se presenta en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Instrumentación de Estaciones Meteorológicas.

Instrumentos/ Estación	Iglesia Colorada	Jorquera en la Guardia	Las Vegas	Pastos Grandes
Evaporímetro	x			
Pluviómetro	x	x	x	x
Pluviógrafo	x			
Higrotermógrafo	x			
Veleta	x			

Para las estaciones Jorquera en la Guardia, Pastos Grandes y Las Vegas se obtuvo la precipitación diaria en mm, en los periodos que se indican en la Tabla 2.4. Para la estación Iglesia Colorada se recibió la precipitación media mensual, evaporación diaria, dirección y velocidad del viento, temperaturas diarias a horas sinópticas, temperaturas medias (año 1993) y temperaturas extremas diarias por mes (°C). En la Tabla 2.5 se resumen los periodos de medición de los parámetros controlados en la estación Iglesia Colorada.

Tabla 2.4: Periodos de datos pluviométricos recibidos

Las Vegas	Jorquera en la Guardia	Pastos Grandes	Iglesia Colorada
Precipitación Diaria (mm)	Precipitación Diaria (mm)	Precipitación Diaria (mm)	Precipitación media mensual (mm)
Periodo: 1984 - 2012	Periodo: 1966 - 2012	Periodo: 1966 - 2012	Periodo: 1988 - 2012

Tabla 2.5: Periodos de medición de los parámetros controlados en la estación Iglesia Colorada.

Medición	Iglesia Colorada
Evaporación diaria (mm)	Periodo: 1988 - 2012
Precipitación media mensual (mm)	Periodo: 1988 - 2012
Temperaturas Diarias a horas sinópticas (°C) (cada 6 horas)	Periodo: febrero a diciembre 1993
Temperaturas Extremas mensuales (°C)	Periodo: 1988 - 2012
Dirección dominante mensual (8, 14 y 20 horas) y velocidad media del viento (km/h)	Periodo: 1993 - 2002



2.1.3.2 Estaciones de Calidad Química de Aguas y Fluviométricas

A continuación se presenta la información disponible online de las estaciones de calidad de agua y fluviométricas cercanas al parque Nevado de Tres Cruces y que están en estado vigente (Tabla 2.6 y Tabla 2.7).

Tabla 2.6: Estaciones de Calidad de Aguas Vigentes.

ESTACIONES CALIDAD QUÍMICA DE AGUAS VIGENTES								
Código BNA	Nombre Estación	UTM Este	UTM Norte	Altitud	Tipo	Fecha Inicio	Código Cuenca	Comuna
03041004-1	Rio Valle Ancho En La Barrera	499709	6998452	4092	Superficial	28-feb-67	3041	Copiapó
03041011-4	Pozo Compañía Minera Tres Cruces	499472	6993030	-	Subterránea	31-dic-99	3041	Copiapó
03041005-K	Rio Lamas En Vertedero	506693	7004322	4298	Superficial	30-nov-79	3040	Copiapó
03022001-3	Rio La Ola En Vertedero	494018	7070682	3587	Superficial	31-mar-97	3022	Diego de Almagro
03041005-K	Rio Lamas En Vertedero	506693	7004322	4298	Superficial	30-nov-79	3040	Copiapó

Tabla 2.7: Estaciones Fluviométricas Vigentes.

ESTACIONES FLUVIOMETRICAS VIGENTES								
Código BNA	Nombre Estación	UTM Este	UTM Norte	Altitud	Fecha Inicio	Mide Sedimento	Código Cuenca	Comuna
03041004-1	Rio Valle Ancho En La Barrera	499709	6998452	4092	Abr 24 1979	NO	3041	Copiapó
03041003-3	Rio Valle Ancho Antes Junta Barros Negros	499435	6983687	3950	Abr 24 1979	NO	3041	Copiapó
03041002-5	Rio Villalobos En Vertedero	497317	6990754	3850	Jun 7 1979	NO	3041	Copiapó
03041005-K	Rio Lamas En El Salto	506693	7004322	4298	Feb 21 1980	NO	3040	Copiapó
03041001-7	Rio Barros Negros Antes Junta Valle Ancho	500041	6983923	3965	Abr 24 1979	NO	3041	Copiapó
03022001-3	Rio La Ola En Vertedero	494018	7070682	3587	Jun 17 1986	NO	3022	Diego De Almagro
03041005-K	Rio Lamas En El Salto	506693	7004322	4298	Feb 21 1980	NO	3040	Copiapó
03050001-6	Rio Astaburuaga En Cono	495319	6962262	4130	Dic 16 1979	NO	3050	Tierra Amarilla

Se solicitaron a la DGA los datos de las estaciones de calidad química de aguas y fluviométricas, obteniéndose los datos para los periodos y estaciones que se presentan en la Tabla 2.9 y la Tabla 2.10. La DGA informó que las estaciones fluviométricas se visitan mensualmente, ya sea para realizar aforo o inspección, según programación. Las Estaciones correspondientes a las cuencas endorreicas se visitan los meses de octubre, diciembre, febrero y abril, siempre que las condiciones del tiempo así lo permitan. Además, se indicó la instrumentación de las estaciones fluviométricas (Tabla 2.8).

Tabla 2.8: Instrumentación de Estaciones Fluviométricas

Nombre Estación	Datalogger *	Limnógrafo
Río Jorquera en Vertedero	x	x
Río Pulido en Vertedero	x	x
Río Manflas en Vertedero	x	x
Río La Ola en Vertedero		x
Río Barros Negros ante Junta Valle		x
Río Villalobos en Vertedero		x
Río Valle Ancho ante Junta Barros		x
Río Valle Ancho en la Barrera		x
Río Lamas en el Salto		x
Río Astaburuaga en Cono		x

* El registro de Datalogger es cada una hora (alturas)

Tabla 2.9: Periodos de datos recibidos para estaciones de Calidad Química de Aguas

Nombre Estación Calidad de Agua	Estado	Código BNA	Periodo de mediciones
Laguna Santa Rosa	Suspendida	03041008-4	mar 1967 y dic 1967
Rio Valle Ancho En La Barrera	Vigente	03041004-1	mar 1967, dic 1967, mar 1979, jun 1979, oct 1979, dic 1979
Rio Valle Ancho Antes Junta Barros Negros	Suspendida	03041003-3	oct 1979 a oct 2011
Pozo Compañía Minera Tres Cruces	Vigente	03041011-4	abril 1999 a feb 2011
Rio Villalobos Antes Rio Barros Negros	Suspendida	03041006-8	no recibidos
Rio Villalobos Antes Rio Valle Ancho	Suspendida	03041007-6	feb 1967 y enero 1968
Rio Barros Negros Antes Junta Valle Ancho	Suspendida	03041001-7	marzo 1979, octubre 1979, dic 1979, feb 1980
Rio La Ola En Vertedero	Vigente	03022001-3	dic 1990 a oct 2011
Rio Lamas En Vertedero	Vigente	03041005-K	dic 1979 a oct 2011
Rio Astaburuaga En Cono	Suspendida	03050001-6	Día de medición puntual 12/12/1979
Rio Figueroa Antes De Rio Turbio	Suspendida	03401001-3	Día de medición puntual 18/02/1975
Rio Turbio Antes Rio Figueroa	Suspendida	03403001-4	Día de medición puntual 18/02/1975



Tabla 2.10: Periodos de datos recibidos para estaciones fluviométricas

Nombre Estación fluviométrica	Código BNA	Periodo de mediciones	Datos recibidos
Rio Valle Ancho en La Barrera	03041004-1	1979 - 2012	Caudal medio mensual
Rio Valle Ancho Antes Junta Barros Negros	03041003-3	1979 - 2012	Caudal medio mensual
Rio Villalobos en Vertedero	03041002-5	1979 - 2012	Caudal medio mensual
Rio Barros Negros Antes Junta Valle Ancho	03041001-7	1979 - 2012	Caudal medio mensual
Rio La Ola en Vertedero	03022001-3	1986 - 2012	Caudal medio mensual
Rio Lamas en El Salto	03041005-K	1980 - 2012	Caudal medio mensual
Rio Astaburuaga en Cono	03050001-6	1979 - 2012	Caudal medio mensual

De las estaciones informadas por la DGA las que se encuentran en las cuencas de la zona de estudio se presentan en la Figura 2.2.

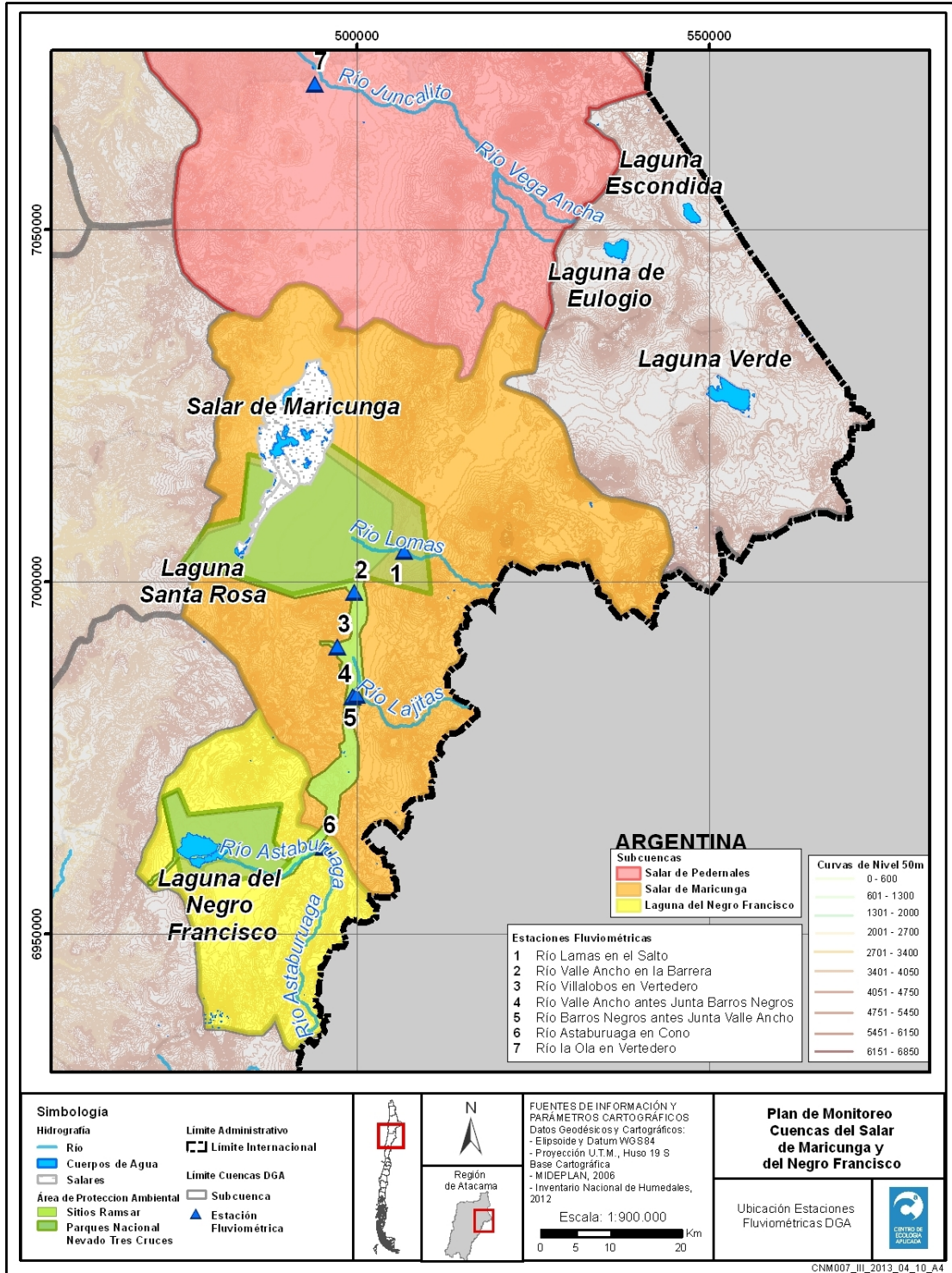


Figura 2.2: Estaciones Fluviométricas de la DGA en la zona de estudio.



2.1.4 Proyectos actuales y futuros

En información disponible online en la página del SEIA se revisaron todos los proyectos que se encontraban en las cercanías del Parque Nevado de Tres Cruces, en especial los de tipo minero. A continuación se presentan los proyectos mineros y de otra índole, que se encuentran dentro de la zona de estudio. Se distingue entre los proyectos que están en proceso de calificación ambiental y aquellos que ya han sido aprobados por el SEIA.

2.1.4.1 Proyectos mineros aprobados por el servicio de evaluación ambiental

Se realizó la búsqueda de proyectos en el sistema del SEIA de acuerdo a como se describe en la metodología. Los proyectos aprobados que correspondían a actualizaciones del mismo proyecto se agruparon con un identificador único. Se hizo distinción entre los proyectos ubicados lejos del área de estudio y los que se encontraban más cerca de las cuencas del Salar de Maricunga y la Laguna del Negro Francisco, usando identificadores diferentes. Cabe notar que a medida que los proyectos son más antiguos existe cada vez menos información online disponible.

La mayoría de los proyectos se ubican en lado este de la cordillera de Domeyko. Los proyectos mineros son principalmente de exploración geológica y de explotación minera. En la Tabla 6.3 (Anexo 6.2) se identifican los proyectos encontrados cercanos a la zona de estudio. Los proyectos AM4, AM6, AM7 son los únicos encontrados que según las coordenadas informadas al SEIA que se encuentran dentro de las cuencas de la modelación hidrodinámica. Los proyectos identificados como AM1, AM2, AM3, AM5, AM8, AM9, AM10, AM11, AM12 y AM13 están en la zona de estudio, pero no dentro de las cuencas analizadas. Se destacan los proyectos que a pesar de estar ubicados fuera de las cuencas de modelación tienen pozos en ella, con los derechos para extraer agua para sus procesos. Este es el caso de los proyectos pertenecientes a la Compañía minera Mantos de Oro (AM3 y AM13), Compañía Minera Maricunga (AM8) y a la Compañía Minera Casale (AM11).

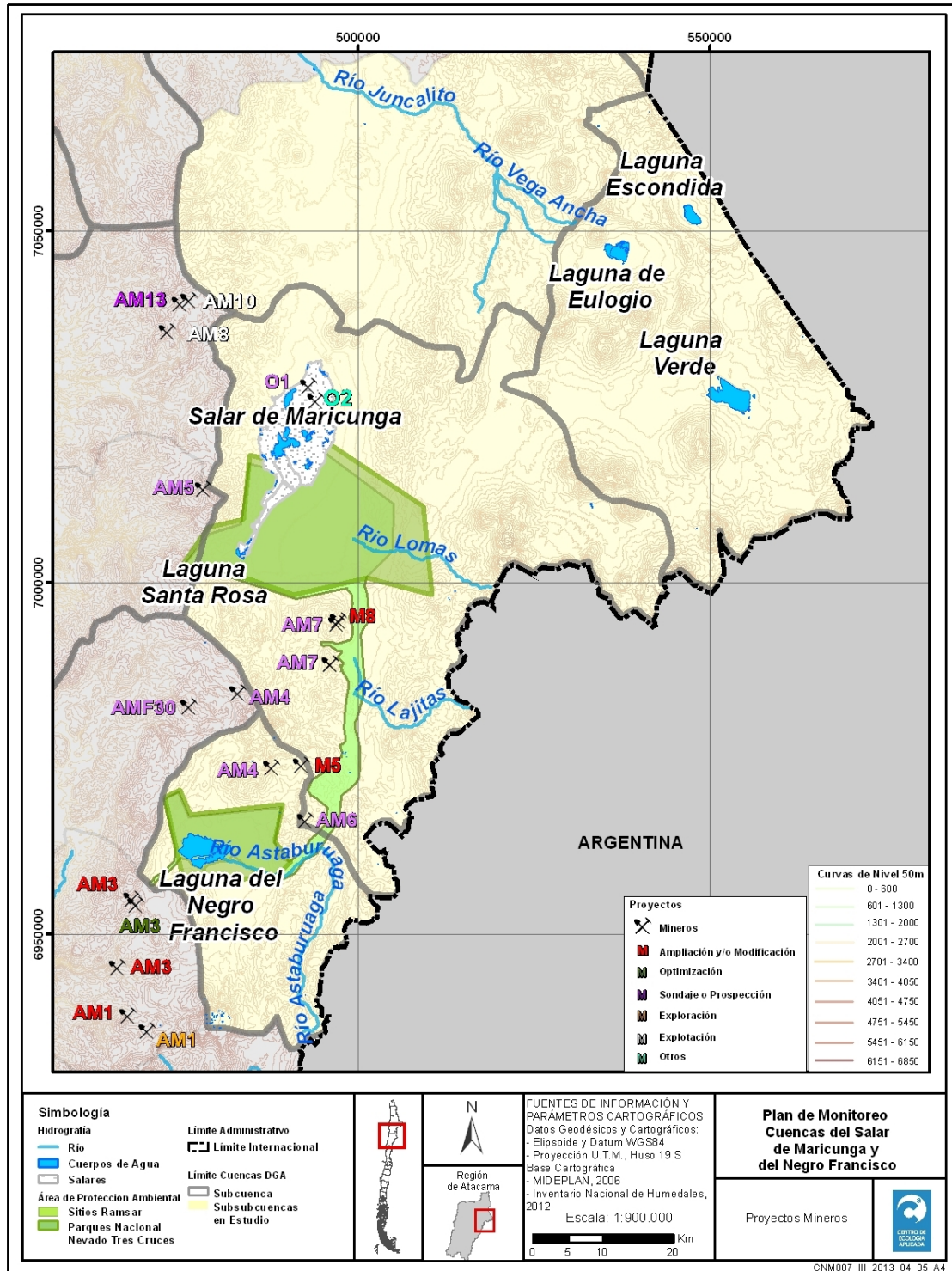


Figura 2.3: Proyectos mineros cercanos a la zona de estudio



A continuación se describen brevemente los proyectos mineros aprobados que se encuentran dentro de la zona de estudio o bien pueden tener un impacto en ella.

AM3: Proyecto Minero Refugio

Esta explotación minera ha presentado diferentes proyectos para ser evaluados por el SEIA a lo largo de su historia. El año 1994 fue aprobado el proyecto de explotación del yacimiento Verde del proyecto Minero Refugio por la Compañía Minera Maricunga y comenzó a operar a partir de 1996. El año 2000 se aprobaron modificaciones en sus procesos de lixiviación para aumentar la vida útil del proyecto. Posteriormente en el año 2002 se presentó el Plan de Cierre del proyecto refugio el que incluyó todas las instalaciones descritas en el EIA del Proyecto Refugio evaluado ambientalmente durante el año 1994 y los aspectos físicos del cierre de las pilas de lixiviación. Desde el segundo semestre del año 2001 la faena estuvo cerrada, pero debido a los mejores precios del valor del mineral se decidió realizar la reapertura. A partir del año 2003, se interpreta que el proyecto fue retomado por la Compañía Minera Maricunga, ya que se presentaron proyectos de nuevas instalaciones y mejoras a los procesos productivos. La última mejora aprobada por el SEIA fue el año 2011 en que se amplió su capacidad de extracción desde los rajos Verde y Pancho. En la DIA presentada para esta última modificación se indica que el agua utilizada en procesos es extraído de 2 pozos ubicados en el sector Pantanillo con consumo promedio anual máximo de 95 l/s.

En la Página del SEIA no está disponible el EIA presentado el año 1993, ni los monitoreos ambientales posteriores al comienzo de ese proyecto. En los documentos del proyecto de instalación del nuevo campamento a utilizar en la reapertura de Refugio existe una caracterización de la línea de base, pero esta no incluye la Laguna del Negro Francisco. En la calificación del proyecto del 2004 “Modificación Instalaciones y Diseños Proyecto Refugio” se presenta un anexo con los Antecedentes Vegetación y Flora EIA Proyecto Refugio 1994. Este último incluye la vegetación y flora de parte de la Laguna del Negro Francisco y Área Pantanillo.

AM4: Proyecto Volcán

El año 2008 fueron aprobados los Sondajes de Prospección Proyecto Volcán para una prospección intensiva del área de influencia de un yacimiento de oro ubicado en el sector de Maricunga, a una cota entre 4600 y 5200 m.s.n.m. El año 2012 fue aprobada la modificación a este proyecto de sondajes de prospección y actualmente el Proyecto Minero Volcán donde se presenta el plan de explotación del mineral se encuentra en proceso de calificación ambiental (identificador M5).

AM6: Proyecto de Prospección Minera Sierra La Sal

El Proyecto aprobado el año 2011 consiste en realizar actividades de prospección minera en un área donde ya existía actividad minera. Este proyecto está ubicado en la cordillera al norte de la Laguna del Negro Francisco.

AM7: Proyecto Lobo-Marte

La Prospección Minera Lobo Marte fue aprobada en julio 2009. El proyecto realizaría sondajes con el propósito de dimensionar el cuerpo mineralizado en dos áreas específicas



denominadas Lobo y Marte. Las áreas de Lobo y Marte se encontraban ya intervenidas por actividades mineras efectuadas en la década del 80 por La Compañía Minera Santa Rosa, propiedad que fue comprada en su totalidad por Kinross Gold, aun así en los registros del SEIA consta como titular Minera Santa Rosa SCM. El sector donde se realiza el proyecto se ubica fuera del Parque Nacional Nevado Tres Cruces. La superficie total del área del proyecto, la cual incluye los polígonos que encierran los puntos de sondaje (Lobo y Marte) y la superficie del campamento, comprende aproximadamente 2.235 ha.

En abril del año 2010 se aprobó el proyecto “Optimización Prospección Minera Lobo Marte”, donde se aumentó el número de sondajes en 35 pozos de prospección adicionales. Posteriormente se ingresó a calificación ambiental una Segunda Etapa de las actividades de prospección en el área Lobo Marte, con 196 sondajes adicionales. La Prospección Minera Lobo Marte Etapa II fue aprobada en diciembre del año 2010.

Actualmente el proyecto de explotación de estos rajos se encuentra en proceso de calificación ambiental (identificador M8).

AM8: Proyecto Explotación de Minerales Can-Can

El proyecto aprobado el año 2010 consiste en la explotación de un yacimiento que contiene minerales de oro y plata, mediante el sistema convencional de explotación a rajo abierto, esto involucra la extracción y transporte del mineral a la planta de procesos de La Coipa, ubicada a 2,5 km. al sureste de Can-Can, así como la extracción y disposición del material estéril en botaderos. El proyecto está concebido para extraer un total de 2.393.820 toneladas de mineral. El titular del proyecto es la Compañía Minera Mantos de Oro. La explotación del rajo Can-Can reemplazó parte de la extracción y transporte del material proveniente de los rajos de Purén y Coipa, sin modificar de modo alguno el consumo hídrico. El abastecimiento de agua para el proyecto es mediante el sistema de aducción proveniente de la cuenca del salar de Maricunga.

AM11: Proyecto Minero Aldebarán

El año 2002 se aprobó que la Compañía Minera Casale realizara la extracción de mineral desde Cerro Casale a través de una explotación convencional en rajo abierto por el transcurso de 18 años. Actualmente está en proceso de calificación ambiental la optimización del proyecto Minero Cerro Casale (M7). Este proyecto extrae agua desde el campo de pozos ubicado en el Llano de Piedra Pómez, donde existirían 12 pozos, y la conduce a través de un acueducto de 121 km de largo hasta el cerro Casale.

2.1.4.2 Proyectos en proceso de calificación ambiental

En la Tabla 2.11 se presentan los proyectos mineros de la provincia de Copiapó que están en calificación ambiental en el SEIA. De estos proyectos M5 y M8 son los únicos que están dentro de la zona de estudio. El proyecto M7, si bien no está dentro de la zona de estudio, impacta en las cuencas estudiadas a extraer agua de la cuenca de Piedra Pómez. En la Tabla 2.12 se presentan otro tipo de proyectos, es decir, proyectos no catalogados como mineros por el SEIA, pero que se desarrollan en la zona de estudio y podrían tener un impacto considerable. En la Tabla 2.13 se presenta el único proyecto en proceso de calificación ambiental de la provincia de Chañaral que se encuentra dentro del



área de modelación. Este proyecto corresponde al de identificador MCH4, proyecto Arqueros.

Tabla 2.11: Proyectos mineros en proceso de calificación ambiental en la provincia de Copiapó.

ID	Nombre	Tipo	Titular	Fecha presentación	Norte WGS 84	Este WGS 84	Comuna	Fecha estimada de inicio de ejecución
M1	Explotación Minera Adriana Norte	DIA	Sociedad Contractual Minera Carola	11-oct-2012	6960700	377200	Tierra Amarilla	05/08/2013
M2	Explotación Minera Oso Negro	EIA	MINERA SAN FIERRO CHILE LTDA	5-sep-2012	6918278	358889	Copiapó	30/04/2013
M3	Explotación Mina Bella Ester	DIA	Sociedad Contractual Minera Desierto de Hierro	29-ago-2012	7023750	379750	Copiapó	31/12/2012
M4	Prospección Minera Vicuña, Sector Tamberías	DIA	Frontera Chile Ltda.	14-ago-2012	6848000	434400	Tierra Amarilla	01/11/2012
M5	Proyecto Minero Volcán	EIA	Andina Minerals Chile Ltda.	23-jul-2012	6974000	492000	Copiapó	01/10/2013
M6	"Ampliación Capacidad Tranque De Relaves N°3 Planta Matta, Enami"	DIA	EMPRESA NACIONAL DE MINERIA	27-ene-2012	6969738	375899	Copiapó	04/06/2012
M7	Optimización Proyecto Minero Cerro Casale	EIA	COMPAÑIA MINERA CASALE	29-jul-2011	6924842	471591	Tierra Amarilla	02/01/2013
M8	Reinicio Y Expansión Proyecto Lobo Marte	EIA	Minera Lobo Marte S.A	29-jun-2011	6994136	497091	Copiapó	01/09/2012

Tabla 2.12: Otros Proyectos en proceso de calificación ambiental en la provincia de Copiapó.

ID	Nombre	Tipo	Titular	Fecha presentación	Norte WGS 84	Este WGS 84	Comuna	Fecha estimada de inicio de ejecución
O1	Sondajes De Exploración De Litio	DIA	Simbalik Group Inversiones Ltda.	30-nov-2012	7028000	493000	Copiapó	01/04/2013
O2	Pruebas De Bombeo Y Habilitación De Pozos Para Monitoreo Hidrogeológico En Salar De Maricunga	DIA	Roberto Gaona Velasco	29-oct-2012	7025900	494040	Copiapó	28/02/2013



Tabla 2.13: Proyectos mineros en proceso de calificación ambiental en la provincia de Chañaral, cercanos a la zona de estudio.

ID	Nombre	Tipo	Titular	Fecha presentación	Norte WGS 84	Este WGS 84	Comuna	Fecha estimada de inicio de ejecución
MCH4	Proyecto Arqueros	EIA	Laguna Resources Chile Limitada	29-dic-2011	7050502	480500	Diego de Almagro	02/01/2013

A continuación se describen brevemente los proyectos cercanos a la zona de estudio de acuerdo a los documentos que presentaron en su proceso de calificación ambiental y que figuran en la página del SEIA.

M5: Proyecto minero Volcán

El Proyecto Minero Volcán está ubicado a 120 km al Este de la ciudad de Copiapó, III Región de Chile, y comprende las instalaciones industriales necesarias para la explotación de dos rajos abiertos, emplazamientos de botaderos de estériles, acopios in situ de mineral, plantas de trituración y molienda, almacenamiento cerrados de mineral triturado, pila de lixiviación, molino de bolas, botadero de ripios de lixiviación por agitación, plantas de proceso, sistemas de captación y transporte de agua, sistema eléctrico interno y sistemas de comunicación. Adicionalmente, el proyecto contempla construcción de accesos, campamentos, laboratorios y oficinas con la infraestructura necesaria y adaptada a las condiciones de su ubicación física.

El cuerpo mineralizado de interés se encuentra ubicado en la Sierra del Azufre, en la ladera del Volcán Azufrera, a una altura de entre 4.200 y 5.300 msnm, a 7,6 km al Norte de la Laguna del Negro Francisco y a 31,7 km al sur de la Laguna Santa Rosa (distancias en línea recta).

M7: Optimización proyecto minero Cerro Casale

Este proyecto es la continuación del proyecto Aldebarán de la compañía minera CASALE, aprobado por la COREMA el año 2002 Resolución Exenta N°14/02. Este proyecto tiene un acueducto de aproximadamente 120 km de extensión que va desde el campo de Piedra Pómez hasta el Cerro Casale, atravesando parte del parque Nacional Nevado de Tres Cruces en su área norte. Dicho acueducto transporta agua desde los pozos que captan agua subterránea en la cuenca de Piedra Pómez hacia la faena minera. Actualmente está en calificación la Optimización del Proyecto Minero Cerro Casale, que aumenta la vida útil de explotación de 18 a 20 años¹.

M8: Reinicio y expansión proyecto Lobo Marte

El Proyecto Lobo Marte, en calificación ambiental, tiene como objetivo producir oro en barras de metal doré y como subproducto precipitado de cobre, dando continuidad a la explotación de la Mina Marte, e incorporando un segundo yacimiento denominado "Lobo". Ambos yacimientos mineros serán explotados a partir de la habilitación de dos rajos abiertos y el tratamiento de los minerales en una planta de procesamiento.

¹ Proyecto aprobado a través de la RCA N°004 del 3 de enero 2013, fecha posterior a esta revisión.



Las áreas del rajo Marte se encuentran intervenidas por actividades mineras efectuadas en la década del 80 por la Compañía Minera Santa Rosa, propiedad que ha sido comprada en su totalidad por Kinross. El Proyecto Mina Marte fue detenido debido a problemas operacionales que hicieron inviable su continuidad comercial, pero ahora se presentó este proyecto a la autoridad para retomar los trabajos. Tiene dos pozos de aguas subterráneas existentes, denominados Marte-1 (M-1) y Marte-2 (M-2), que serán rehabilitados.

O1: Sondajes de explotación de litio

El objetivo del Proyecto consiste en verificar la existencia de recursos tales como litio, potasio y boro, a través de sondeos, para así caracterizar geológicamente el área y analizar la eventual explotación comercial de los yacimientos, minimizando las incertidumbres asociadas a las concentraciones minerales en el área.

O2: Pruebas de bombeo y habilitación de pozos para monitoreo hidrogeológico en salar de Maricunga

Los objetivos del Proyecto son: (i) realizar, mediante pruebas de bombeo, actividades de exploración minera que permitan caracterizar, delimitar y estimar el potencial de los recursos minerales de salmuera presentes en el Salar de Maricunga; y (ii) habilitar 14 pozos de monitoreo con el fin de obtener información crítica para el desarrollo de un modelo hidrogeológico de las salmueras existentes en el Salar, que pueda, a su vez, servir como parte de una línea de base para un futuro Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de un eventual proyecto minero.

**2.1.5 Derechos de agua identificados en el área de modelación**

Los derechos de agua identificados dentro del área de modelación, utilizando la metodología expuesta anteriormente, se presentan en la Tabla 2.14 y Figura 2.4

Tabla 2.14: Derechos de agua otorgados en el área de modelación

ID	Cuenca	Expediente	Peticionario	Caudal Otorgado	Norte WGS 84	Este WGS 84	Nº Res.	Fecha Res.	Comuna	Situación
P1	03040/Piedra Pómez	ND-0302-499	COMPAÑIA MINERA CASALE	1,02	7021309	514740	247	12/08/2008	Copiapó	A
P2	03040/Piedra Pómez	ND-0302-487	COMPAÑIA MINERA CASALE	30,00	7027286	520323	112	11/02/2002	Copiapó	A
P3	03040/Piedra Pómez	ND-0302-484	COMPAÑIA MINERA CASALE	20,00	7031199	520463	115	11/02/2002	Copiapó	A
P4	03040/Piedra Pómez	ND-0302-486	COMPAÑIA MINERA CASALE	120	7020013	517997	77	02/02/2001	Copiapó	A
P5	03040/Piedra Pómez	ND-0302-483	COMPAÑIA MINERA CASALE	120	7020988	517550	80	02/02/2001	Copiapó	A
P6	03031/Pampa de Barrancas Blancas	ND-0302-495	COMPAÑIA MINERA CASALE	43	7024691	532113	88	02/02/2001	Copiapó	A
P7	03031/Pampa de Barrancas Blancas	ND-0302-498	COMPAÑIA MINERA CASALE	130	7026399	531352	89	02/02/2001	Copiapó	A
P8	03040/Piedra Pómez	ND-0302-494	COMPAÑIA MINERA CASALE	120	7019992	519958	91	02/02/2001	Copiapó	A
P9	03031/Pampa de Barrancas Blancas	ND-0302-493	COMPAÑIA MINERA CASALE	30	7024392	528699	97	02/02/2001	Copiapó	A
P10	03040/Piedra Pómez	ND-0302-488	COMPAÑIA MINERA CASALE	100	7021742	520790	98	02/02/2001	Copiapó	A
P11	03040/Piedra Pómez	ND-0302-497	COMPAÑIA MINERA CASALE	100	7023597	520866	106	02/02/2001	Copiapó	A
P12	03040/Piedra Pómez	ND-0302-490	COMPAÑIA MINERA CASALE	108	7022587	518840	114	02/02/2001	Copiapó	A
P13	03040/Piedra Pómez	ND-0302-492	COMPAÑIA MINERA CASALE	95	7017993	517935	36	18/01/2001	Copiapó	A
P14	03031/Pampa de Barrancas Blancas	ND-0302-491	COMPAÑIA MINERA CASALE	47	7027272	522220	37	18/01/2001	Copiapó	A
P15	03040/Piedra Pómez	ND-0302-489	COMPAÑIA MINERA CASALE	102	7018738	516736	38	18/01/2001	Copiapó	A
P16	03040/Piedra Pómez	ND-0302-496	COMPAÑIA MINERA CASALE	30	7020029	521904	40	18/01/2001	Copiapó	A
P17	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-552	INVERSIONES Y ASESORIAS EN RECURSOS HIDRICOS S.A.	170	6985295	500114	17	16/01/2001	Copiapó	A
P18	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-556	INVERSIONES Y ASESORIAS EN RECURSOS HIDRICOS S.A.	170	6985590	500109	17	16/01/2001	Copiapó	A
P19	03022/Río de la Ola	ND-0301-458	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	2	7053171	485466	911	01/12/1999	Diego de Almagro	A
P20	03040/Piedra Pómez	ND-0302-485	COMPAÑIA MINERA CASALE	42	7034603	520424	98	16/04/1999	Copiapó	A
P21	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-265	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	45	6966134	496819	282	24/07/1992	Copiapó	A
P22	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-262	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	105	6963936	495497	283	24/07/1992	Copiapó	A
P23	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-249	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	108	6965478	496455	284	24/07/1992	Copiapó	A
P24	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-208	CHEVRON MINERA CORPORATION OF CHILE	62	7021451	497846	244	04/07/1991	Copiapó	A
P25	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-193	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	50	7013911	493794	658	23/11/1990	Copiapó	A
P26	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-193	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	50	7016057	494945	658	23/11/1990	Copiapó	A
P27	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	100	7007360	490446	659	23/11/1990	Copiapó	A
P28	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	100	7007709	491245	659	23/11/1990	Copiapó	A
P29	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	55	7007991	492089	659	23/11/1990	Copiapó	A
P30	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	30	7029520	490925	542	21/08/1990	Copiapó	A
P31	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	30	7031273	491938	542	21/08/1990	Copiapó	A
P32	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	25	7032087	492998	542	21/08/1990	Copiapó	A



Plan de Monitoreo Cuencas del Salar de Maricunga y del Negro Francisco

ID	Cuenca	Expediente	Peticionario	Caudal Otorgado	Norte WGS 84	Este WGS 84	Nº Res.	Fecha Res.	Comuna	Situación
P33	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	1	7032963	491283	542	21/08/1990	Copiapó	A
P34	03041/Salar de Maricunga	M-III-125	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	20	7028289	490396	176	06/03/1990	Copiapó	A
P35	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-60	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	100	6992934	499452	163	27/04/1989	Copiapó	A(29297)/ D- RR(30845)
P36	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-60	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	100	6992959	499353	163	27/04/1989	Copiapó	A(29297)/ D- RR(30845)
P37	03022/Río de la Ola	ND-0301-831	MINERIA ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.	80	7053160	480512	35	08/02/1984	Diego de Almagro	A(29297)/ P- DARH(30 845)
NOMENCLATURA										
D-RR (30845) DENEGADO CON RECURSO DE RECONSIDERACIÓN (INFORMADO EN RESPUESTA 30845 de oirs-transparencia DGA)										
A APROBADO										
A (27297) APROBADO (INFORMADO EN RESPUESTA 27297 de oirs-transparencia DGA)										
D DENEGADO										

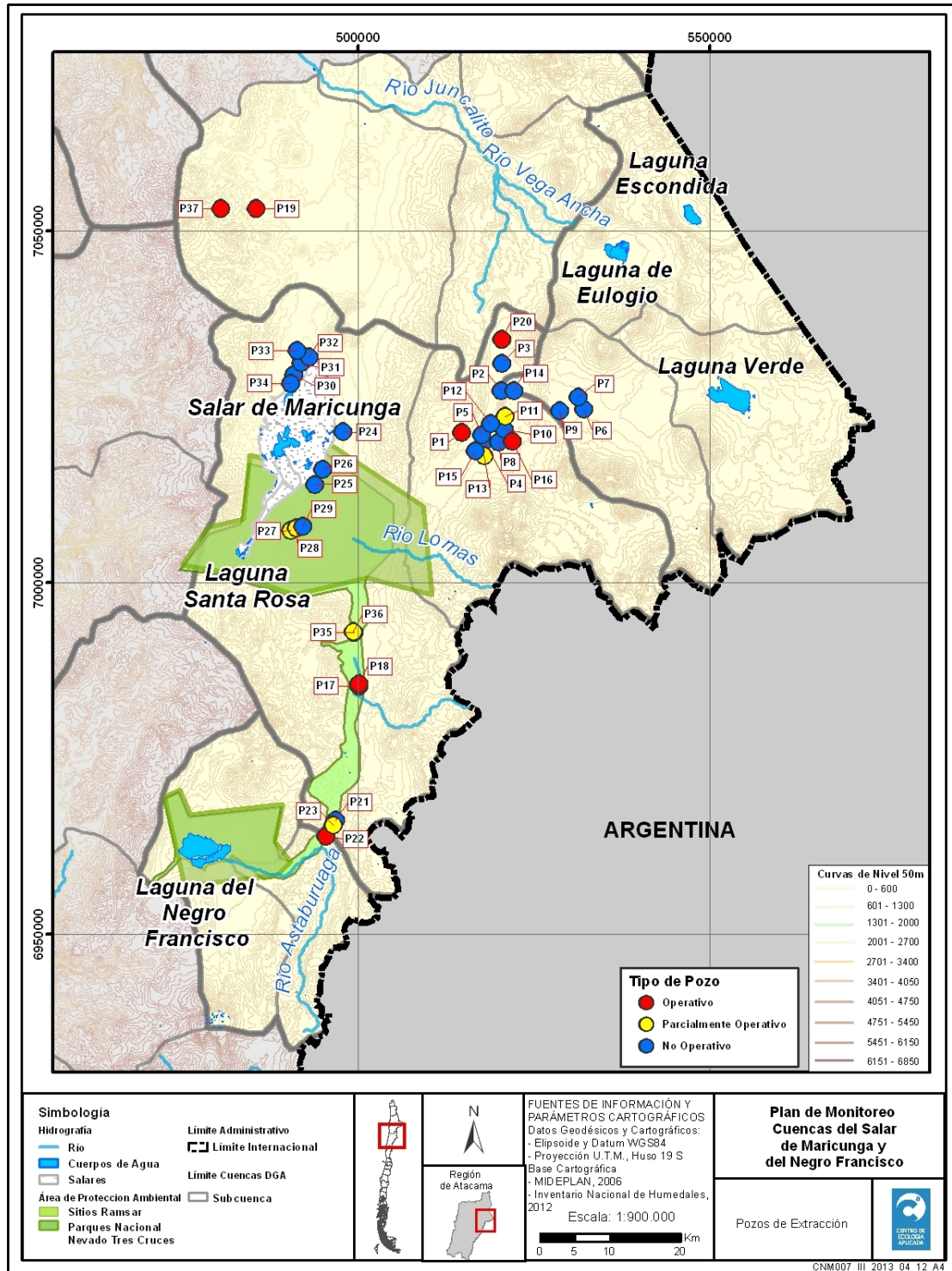


Figura 2.4: Pozos de extracción de agua de derechos de agua subterráneos identificados en el área de modelación, de acuerdo la Tabla 2.14. Los círculos rojos corresponden a pozos no afectados al pago de patentes, los amarillos a pozos afectados parcialmente al pago de patentes y los azules afectados en su totalidad al pago de patentes.

2.1.6 Derechos de agua afectos al pago de patente por no uso en la zona de modelación: Escenario actual

Según el cruce de información con el listado de pago de patentes por no uso para el año 2013, se presenta en la **Tabla 2.15** los derechos de agua afectos o no a pago. En la Figura 2.4 se identifican en puntos rojos los derechos no afectos al pago de patente (estarían en ejercicio) y en puntos amarillos los que están afectos parcialmente al de pago de patentes (estarían parcialmente en ejercicio). Los puntos azules de la Figura 2.4 están afectos totalmente a patente (no estarían en ejercicio). Se debe precisar que pueden haber derechos no afectos a patente producto de que no han sido aún fiscalizados u otros que están exentos por sus características (en el norte del país, caudales menores a 10 l/s no están afectos al pago de patente). De esta forma, el listado de derechos afectos o no al pago de patente corresponde a una primera aproximación de las extracciones efectivas en la zona de modelación.

Tabla 2.15: Caudales de derechos de agua actualmente afectos al pago de patente.

ID	Exp.	Peticionario	Caudal Otorgado (derecho de agua) (l/s)	Caudal afecto al pago de patente por no uso (fracción del caudal otorgado que estaría sin ejercer) (l/s)	Caudal no afecto al pago de patente por no uso (fracción del caudal otorgado que estaría siendo ejercido) (l/s)	Nº Patente listado 2013	ID
P1	ND-0302-499	COMPAÑIA MINERA CASALE	1.02	no tiene	0.00	x	1.02
P11	ND-0302-497	COMPAÑIA MINERA CASALE	100	123	75.00	x caudal parcial	25.00
P13	ND-0302-492	COMPAÑIA MINERA CASALE	95	118	65.00	x caudal parcial	30.00
P16	ND-0302-496	COMPAÑIA MINERA CASALE	30	no tiene	0.00	x	30.00
P17	ND-0302-552	INVERSIONES Y ASESORIAS EN RECURSOS HIDRICOS S.A.	170	no tiene	0.00	x	170.00
P18	ND-0302-556	INVERSIONES Y ASESORIAS EN RECURSOS HIDRICOS S.A.	170	no tiene	0.00	x	170.00
P19	ND-0301-458	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	2	no tiene	0.00	x	2.30
P20	ND-0302-485	COMPAÑIA MINERA CASALE	42	no tiene	0.00	x	41.60



ID	Exp.	Peticionario	Caudal Otorgado (derecho de agua) (l/s)	Caudal afecto al pago de patente por no uso (fracción del caudal otorgado que estaría sin ejercer) (l/s)	Caudal no afecto al pago de patente por no uso (fracción del caudal otorgado que estaría siendo ejercido) (l/s)	Nº Patente listado 2013	ID
P22	ND-0302-262	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	105	no tiene	0.00	x	105.00
P23	ND-0302-249	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	108	6560	93.00	x caudal parcial	15.00
P27	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	100	7282	55.00	x caudal parcial	45.00
P28	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	100	6563	15.00	x caudal parcial	85.00
P35	ND-0302-60	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	100	2351	95.00	x caudal parcial	5.00
P36	ND-0302-60	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	100	3619	85.00	x caudal parcial	15.00
P37	ND-0301-831	MINERIA ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.	80	no tiene	0.00	x	80.00

x : Pozo Operativo

En consideración a que el listado de derechos afectos o no al pago de patente corresponde a una primera aproximación de las extracciones efectivas en la zona de modelación, la Tabla 2.15 fue analizada por la DGA región de Atacama informándose que los derechos de agua que estarían efectivamente siendo ejercidos de manera permanente (operativos) en el área de modelación corresponden a los indicados en la Tabla 2.16. Se aclara que el caudal del derecho de agua que efectivamente estaría siendo ejercido (l/s) corresponde a información entregada por el peticionario y no a información efectivamente medida por la DGA.



Tabla 2.16: Pozos de extracción indicados como operativos por la DGA Regional de Atacama y utilizados para la modelación de la condición actual.

ID	Expediente	Peticionario	Nombre Captación	Caudal Otorgado (derecho de agua) (l/s)	Caudal ejercido promedio (l/s)
P22	ND-0302-262	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	RA-2	105	33.38 (1)
P23	ND-0302-249	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	RA-1	108	42 (1)
P27	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	SP-4	100	22.83 (2)
P28	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	SP-3	100	33.76 (2)
P36	ND-0302-60	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	N° 1 Lobo Marte	100	0.25 (3)

(1) Consumo promedio mensual del año 2011, según reportes trimestrales entregados por la empresa Compañía Minera Maricunga.

(2) Consumo promedio mensual del año 2012, según reporte trimestral entregado por la empresa Compañía Minera Mantos de Oro.

(3) Consumo promedio mensual del año 2012, según reportes trimestrales entregados por la empresa KINROSS, según lo dispuesto en la Resolución Calificación Ambiental Atacama N° 130, de 18 de junio de 2009, que aprobó ambientalmente favorable el denominado proyecto Prospección Minera Lobo Marte

2.1.7 Derechos de agua para la condición potencial: Escenario futuro potencial

Es importante mencionar que un titular de proyecto puede no coincidir con el peticionario del derecho de agua, lo que dificulta la identificación de las extracciones potenciales. Este es el caso de los derechos de agua identificados con ID P19 y P37 (ver Tabla 2.15 y Tabla 2.17). Para efectos del escenario de modelación futuro potencial, se asumió que estos dos derechos de agua se encontrarán en ejercicio ya que ellos no están afectos al pago de patente según listado 2013.

Tabla 2.17: Pozos de extracción para la condición potencial.

ID	Peticionario	Nº Patente listado 2013	Operativos según listado patentes 2013	Operación Potencial con RCA aprobado o en trámite
P1	COMPAÑIA MINERA CASALE	no tiene	x	Proyecto Aldebarán, aprobado
P2	COMPAÑIA MINERA CASALE	6162		Proyecto Aldebarán, aprobado
P3	COMPAÑIA MINERA CASALE	6161		Proyecto Aldebarán, aprobado
P4	COMPAÑIA MINERA CASALE	6160		Proyecto Casale, aprobado
P5	COMPAÑIA MINERA CASALE	6158		Proyecto Casale, aprobado
P6	COMPAÑIA MINERA CASALE	121		Proyecto Casale, aprobado
P7	COMPAÑIA MINERA CASALE	124		Proyecto Casale, aprobado
P8	COMPAÑIA MINERA CASALE	120		Proyecto Casale, aprobado
P9	COMPAÑIA MINERA CASALE	119		Proyecto Casale, aprobado
P10	COMPAÑIA MINERA CASALE	6159		Proyecto Casale, aprobado
P11	COMPAÑIA MINERA CASALE	123	x caudal parcial	Proyecto Casale, aprobado
P12	COMPAÑIA MINERA CASALE	116		Proyecto Casale, aprobado
P13	COMPAÑIA MINERA CASALE	118	x caudal parcial	Proyecto Casale, aprobado
P14	COMPAÑIA MINERA CASALE	117		Proyecto Casale, aprobado
P15	COMPAÑIA MINERA CASALE	6157		Proyecto Casale, aprobado
P16	COMPAÑIA MINERA CASALE	no tiene	x	Proyecto Casale, aprobado
P17	INVERSIONES Y ASESORIAS EN RECURSOS HIDRICOS S.A.	no tiene	x	Proyecto minero Volcán, en calificación
P18	INVERSIONES Y ASESORIAS EN RECURSOS HIDRICOS S.A.	no tiene	x	Proyecto minero Volcán, en calificación
P19	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	no tiene	x	No fue encontrado un Proyecto evaluado ambientalmente que utilice este derecho como fuente de agua.
P20	COMPAÑIA MINERA CASALE	no tiene	x	Proyecto Casale, aprobado
P21	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	4256		Proyecto minero Refugio, aprobado
P22	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	no tiene	x	Proyecto minero Refugio, aprobado
P23	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	6560	x caudal parcial	Proyecto minero Refugio, aprobado
P24	CHEVRON MINERA CORPORATION OF CHILE			



ID	Peticionario	Nº Patente listado 2013	Operativos según listado patentes 2013	Operación Potencial con RCA aprobado o en trámite
P25	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	129		Proyecto Explotación Minerales Can-Can, aprobado
P26	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	3608		Proyecto Explotación Minerales Can-Can, aprobado
P27	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	7282	x caudal parcial	Proyecto Explotación Minerales Can-Can, aprobado
P28	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	6563	x caudal parcial	Proyecto Explotación Minerales Can-Can, aprobado
P29	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	6455		Proyecto Explotación Minerales Can-Can, aprobado
P30	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	3607		Proyecto Explotación Minerales Can-Can, aprobado
P31	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	3605		Proyecto Explotación Minerales Can-Can, aprobado
P32	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	128		Proyecto Explotación Minerales Can-Can, aprobado
P33	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	3606		Proyecto Explotación Minerales Can-Can, aprobado
P34	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	6346		Proyecto Explotación Minerales Can-Can, aprobado
P35	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	2351	x caudal parcial	Reinicio y Expansión Proyecto Lobo Marte, en calificación
P36	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	3619	x caudal parcial	Prospección Minera Lobo Marte Etapa II, aprobado
P37	MINERIA ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.	no tiene	x	No fue encontrado un Proyecto evaluado ambientalmente que utilice este derecho como fuente de agua

x : Pozo Operativo

Finalmente, del total de derechos de agua aprobados indicados en la Tabla 2.14 existe un expediente que paga patente y que a la fecha no se ha encontrado el RCA asociado, el de ID P24.



2.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En esta sección se presenta una recopilación bibliográfica de los antecedentes relevantes que permiten caracterizar la región de en estudio desde el punto climático, hidrológico, hidrogeológico, y ecológico.

2.2.1 Objetivos

Objetivo general

Mediante una revisión bibliográfica se desea describir las características generales de la región en estudio relacionadas el clima, la hidrología, hidrogeología, flora, vegetación, fauna y biota acuática de la zona de estudio.

Objetivos específicos

1. Recopilar información relacionada con estudios previos en la zona de estudio, como también estudios de sistemas similares publicados en la literatura científica.
2. Caracterizar la región en estudio.

2.2.2 Metodología

Utilizando información disponible en los estudios de impacto ambiental en la zona de estudio, en informes generados por organismos estatales y estudios académicos, se realizará una caracterización del clima, la hidrología, hidrogeología, flora, vegetación, fauna y biota acuática de la zona de estudio.

2.2.3 Áreas protegidas en la zona de estudio

El Parque Nacional Nevado de Tres Cruces se ubica a 200km al este de la ciudad de Copiapó, en la tercera Región de Atacama (CONAF, 1997).

Administrativamente la III Región se encuentra dividida en tres Provincias: Chañaral, Copiapó y Huasco. Las dos primeras son las más cercanas a la zona de estudio. La provincia de Chañaral tiene como comunas Diego de Almagro y Chañaral. Mientras que la provincia de Copiapó tiene como comunas Tierra Amarilla, Copiapó y Caldera. Es en las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla donde se encuentra ubicado el parque nacional Nevados de Tres Cruces.

El Parque Nevado de Tres Cruces fue creado en 1994 dentro del Sistema Nacional de áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE) y se divide en 2 áreas, el Sector “Laguna Santa Rosa” se encuentra al norte dentro de la comuna de Copiapó y el Sector “Laguna del Negro Francisco” se encuentra al sur quedando casi completamente en la división administrativa de la comuna de tierra amarilla (CONAF, 1997).

Al sector “Laguna Santa Rosa” pertenecen la laguna Santa Rosa, el extremo sur del Salar de Maricunga y la desembocadura del río Lamas. Tiene una superficie de 46944,37 ha y el espejo de agua de la laguna se encuentra a una altura de 3715 m.s.n.m. (CONAF, 1997).



El Salar del Negro Francisco y la desembocadura del río Astaburuaga pertenecen al “Laguna del Negro Francisco” del parque, el cual abarca 12137,50 ha a una altura de 4000 m.s.n.m. Ambos sectores corresponden en total a 59081.87 ha (CONAF, 1997).

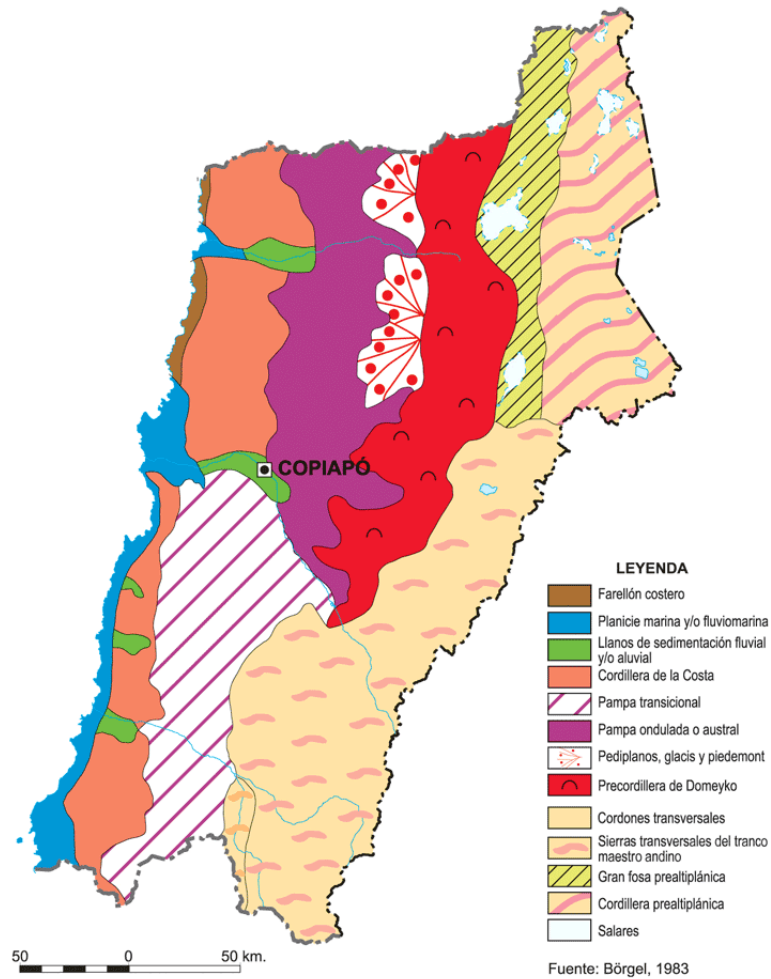
En el año 1981 Chile se suscribió a la convención sobre los Humedales de Importancia Internacional (Ramsar, Irán 1971), donde se vela por la conservación de los humedales catalogados como sitios Ramsar. El sitio Ramsar administrado por la CONAF corresponde a las lagunas del Negro Francisco y Santa Rosa, al corredor biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda que va desde la laguna Santa Rosa hasta la Laguna del Negro Francisco y al bodefal del río La Gallina, haciendo un total de 62460 ha (Ramsar FIR, 2009-2012).

Los sitios prioritarios son otro tipo clasificación de sectores con alto valor para la conservación y usos sustentable de la biodiversidad. Estos sitios son identificados por el ministerio de medio ambiente y antiguamente por la CONAMA. El sitio prioritario Nevado de Tres Cruces es una ampliación del parque nevado de Tres Cruces, que une los dos sectores del parque a través del corredor biológico, además incluye la quebrada del río La Gallina y otros sitios de relevancia obteniéndose una superficie total de 182450 ha (CONAF s/f).

2.2.1 Geomorfología regional

La Región de Atacama desde la ciudad de Copiapó hacia el norte tiene formaciones geológicas con orientación norte-sur donde se distingue desde el oeste hacia el este la Cordillera de la Costa, la Depresión Central, la Precordillera de Domeyko, la Depresión Andina y la Cordillera Prealtiplánica (Figura 2.5).

La cordillera de la costa alcanza alturas de 2000 mns, limita al oeste con un estrecho farellón costero y al este con la depresión central o pampa ondulada, que es una cubierta aluvial de altura entre 1000 y 1500 msnm. La Cordillera de Domeyko separa la depresión Central de la Depresión Andina o Fosa Prealtiplánica, es en esta última donde se desarrollan el Salar de Pedernales y Salar de Maricunga. La Depresión Andina separa localmente a la Cordillera de Domeyko y Cordillera Occidental, que se juntan al sur de la cuenca de Maricunga (Borgel, 1983).



**Figura 2.5: Geomorfología de la región de Atacama.
(Fuente: IGM)**

2.2.2 Clima y meteorología

2.2.2.1 Clima regional

El parque Nevado de Tres cruces está ubicado en la parte más Austral del Altiplano Chileno. Esta zona es afectada por el fenómeno llamado invierno boliviano, que tiene precipitaciones convectivas en los meses de enero y febrero. Sin embargo, el efecto del invierno boliviano en la región de Atacama es mucho menor que en el altiplano del Norte Grande, por lo que esta zona tiene mayores precipitaciones invernales y menores precipitaciones estivales.

El clima del parque Nevado de Tres Cruces corresponde a Desierto Frío de Montaña según la clasificación de Fuenzalida (1967) (citado en Moreno et al, 2000). Este clima se define como un desierto frío donde el ritmo de las temperaturas es regulado por la altitud, con gran sequedad del aire, diferencias térmicas estacionales y gran diferencia de temperatura entre el día y la noche (CONAF, 1997).

Según la dirección meteorológica de Chile (2001) los sectores con mayor precipitación anual son los más altos, donde se alcanzan hasta 90 mm de agua caída al año. Por otro lado, el Balance Hídrico de Chile (DGA, 1987) presenta isoyetas de precipitaciones medias anuales para el área de estudio que van entre 100 a 150 mm.

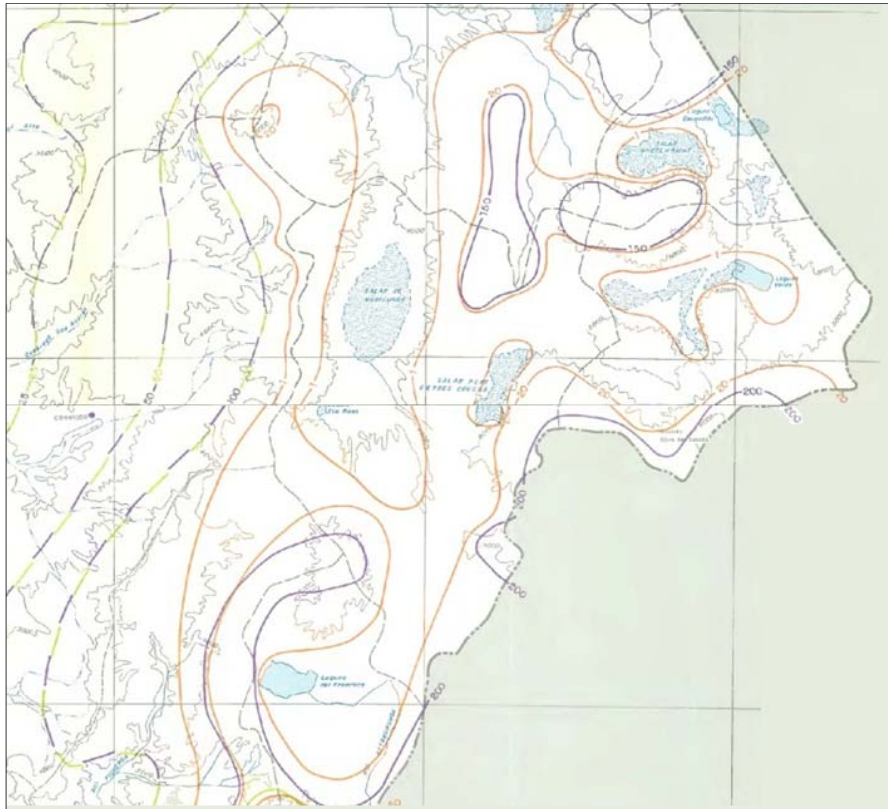


Figura 2.6: Corte en la zona de interés de mapa de Isoyetas para la provincia de Chañaral y Copiapó (líneas moradas) Balance Hídrico de Chile. (Fuente: DGA, 1987).

En general la zona del altiplano donde se ubican los salares (altiplano entre la II y III región), tiene un clima de aire seco con humedad de 50%, y bajas precipitaciones del orden de 150 mm por año. Las temperaturas promedio oscilan en torno a los 0°C con gran oscilación térmica diaria y estacional (valores máximos mayores a 30°C), la radiación llega a 1300W/m² en verano (de la Fuente & Niño, 2010). Durante el día hay una gran oscilación térmica con temperaturas que pueden alcanzar los -30°C por la noche.

Las estaciones meteorológicas de la DGA más cercanas a la zona de estudio son Pastos Grandes, Jorquera en la Guardia, Las Vegas e Iglesia Colorada. De estas estaciones sólo Iglesia Colorada (1550 m.s.n.m.) tiene registros de temperatura desde junio 1988 hasta enero 2012 y las demás registran sólo mm de agua caída. La estación que registra precipitación a mayor altura es Pastos Grandes, pero sólo alcanza los 2260 m.s.n.m. y la zona de estudio se encuentra ubicada sobre los 3700 m.s.n.m. Los meses más fríos registrados en Iglesia colorada son junio y julio con temperatura promedio de 15.5°C, mientras que las máximas temperaturas promedios son en febrero con 21°C (Figura 2.7).

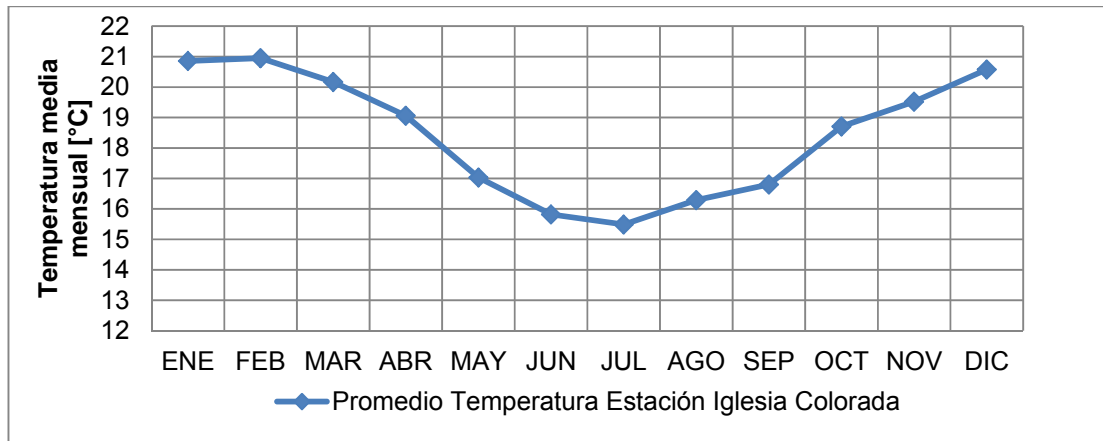


Figura 2.7: Temperatura media mensual histórica en la Estación Iglesia Colorada (Fuente: GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011)

Una de las conclusiones importantes del estudio desarrollado por la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) para la DGA (DGA-PUC SIT N°195-parte X, 2009), fue que la temperatura media absoluta de las estaciones ubicadas por sobre los 3000 m.s.n.m. en las regiones I, II, III y IV se comporta de manera similar. Al analizar todos los registros en estaciones de la DGA de esas regiones y estaciones propias del estudio (PUC-DGA) (Tabla 2.9) se obtuvo un gradiente de temperatura media absoluta con la altura.

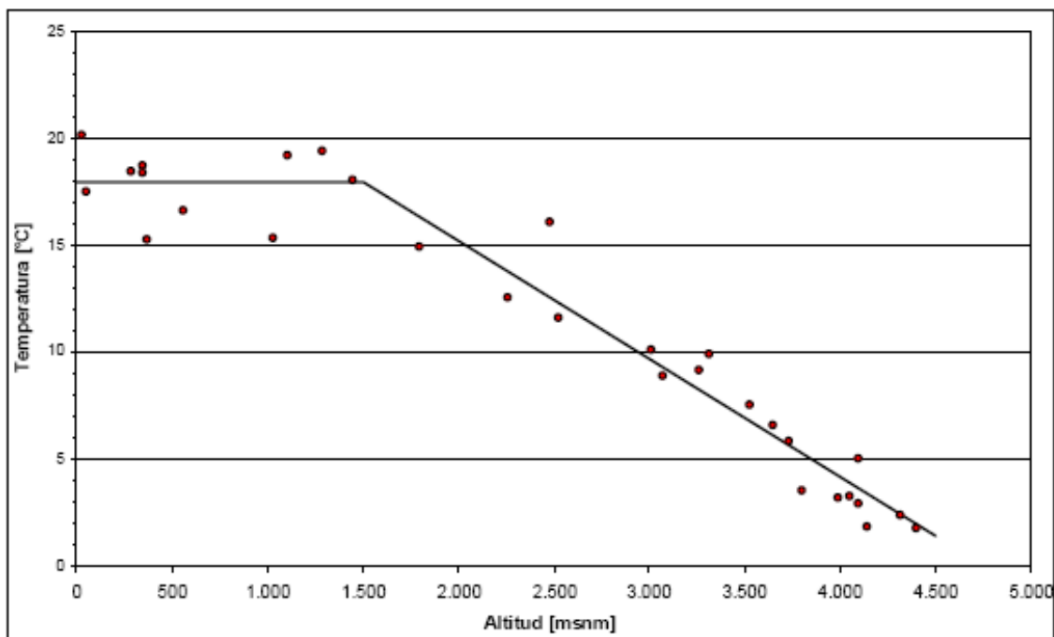


Figura 2.8: Gradiente de la temperatura media absoluta en las estaciones DGA de la XV, I, II y III Región (DGA, 2009).

Tabla 2.18: Estaciones pluviométricas seleccionadas para el sistema piloto de la III Región (DGA-PUC SIT N°195-parte X, 2009)

N°	Fuente	Código BNA	Estación Pluviométrica	UTM (PSAD 1956)		Altitud
				Este	Norte	[msnm]
1	PUC-DGA		Pajonales	512.258	7.217.253	3.591
2*	PUC-DGA		Maricunga	486.326	7.000.372	3.852
3*	PUC-DGA		Pedernales Norte	488.306	7.108.827	3.417
4*	PUC-DGA		Pedernales Sur	493.056	7.049.016	3.774
5	PUC-DGA		Agua Amarga	515.824	7.178.987	3.623
6	DGA	03210001-5	Las Vegas	433.668	7.048.423	2.115
7	DGA	03441001-1	Pastos Grandes	445.477	7.002.327	2.000

* Estaciones ubicadas al interior de las cuencas del sistema piloto

Los registros de precipitación de las estaciones proporcionados por la DGA (OIRS Respuesta N°29721 y N°30797) permitieron calcular la precipitación media anual en las estaciones antes mencionadas. Lo anterior se realizó sin utilizar ningún tipo de relleno hidrológico de datos y sólo como una aproximación a la precipitación de estas estaciones. Los valores de la

Tabla 2.19 muestran que la precipitación es menor que la esperada en la zona de estudio de acuerdo a la carta de isoyetas de la Dirección Meteorológica de Chile (2001), esto se probablemente se deba a que las estaciones con registros se encuentran a menor altitud que el sitio de estudio.

Tabla 2.19: Precipitación media anual estaciones DGA. En el proceso de cálculo no se realizó ningún tipo de relleno hidrológico de datos.

	Las Vegas	Jorquera	Pastos Grandes	Iglesia Colorada
Precipitación promedio anual [mm]	44,49	42,54	30,54	48,68
Altitud [m.s.n.m]	2250	2000	2260	1550

(Fuente: Elaboración propia)

Utilizando los datos de precipitación rellenados para el estudio de línea de base hidrogeológica del proyecto "Reinicio y expansión Lobo-Marte" por GOLDER ASSOCIATES INC. (2011), en anexo 6.5.1, se confeccionó el gráfico de la Figura 2.9, que muestra que la precipitación media es más abundante en los meses de junio y julio, periodo invernal, y que no se registran grandes lluvias en el periodo estival de modo que las estaciones de la DGA no están afectadas por el invierno altiplánico.

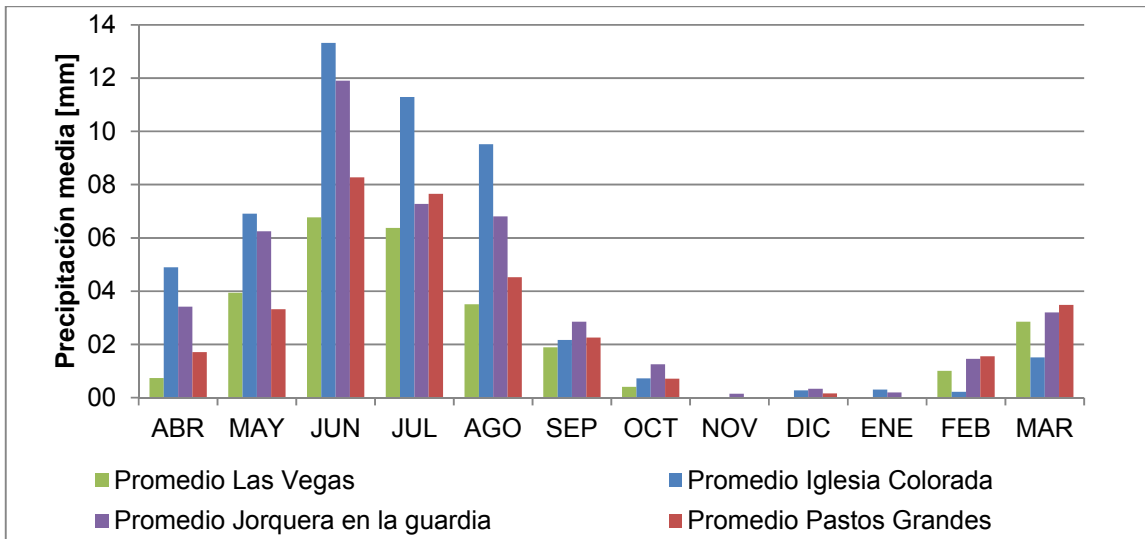


Figura 2.9: Precipitación media mensual estaciones DGA.
(Fuente: Elaboración propia)

Todas las estaciones que miden evaporación de bandeja en la tercera región están bajo los 2000 m.s.n.m, de modo que no caracterizan de buena manera el sector local del área de estudio. En la revisión hecha por la PUC para la DGA (DGA-PUC SIT N°195-parte VII, 2009) se revisaron todas las estaciones de la DGA que median evaporación y se construyó una relación entre la evaporación de bandeja y la altura de las estaciones (Figura 2.10).

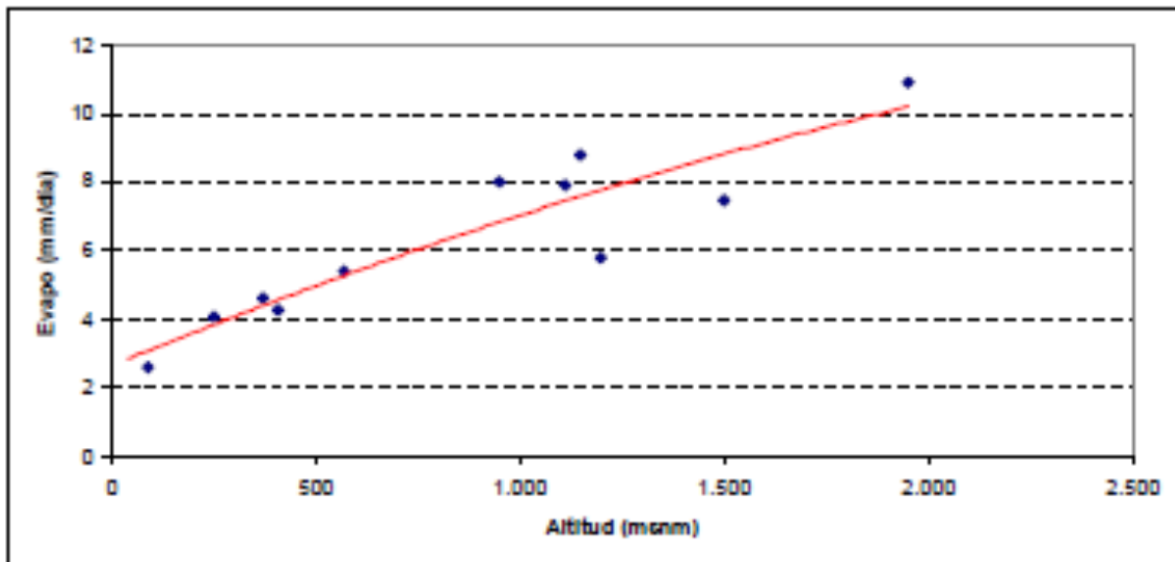


Figura 2.10: Evaporación de bandeja media diaria en función de la altura, III Región.
(Fuente: DGA 2009, parte VII)

Por otra parte se recibieron datos de evaporación de la DGA a través de la oficina de transparencia (OIRS Respuesta N°30797), en la estación Iglesia Colorada. Con estos datos se calculó la evaporación media mensual generando el gráfico de la Figura 2.11. Se puede ver que en esta estación la evaporación sigue un patrón similar a la temperatura,

alcanzando en los meses de enero y diciembre la máxima evaporación con valor de 392,5 mm/mes promedio.

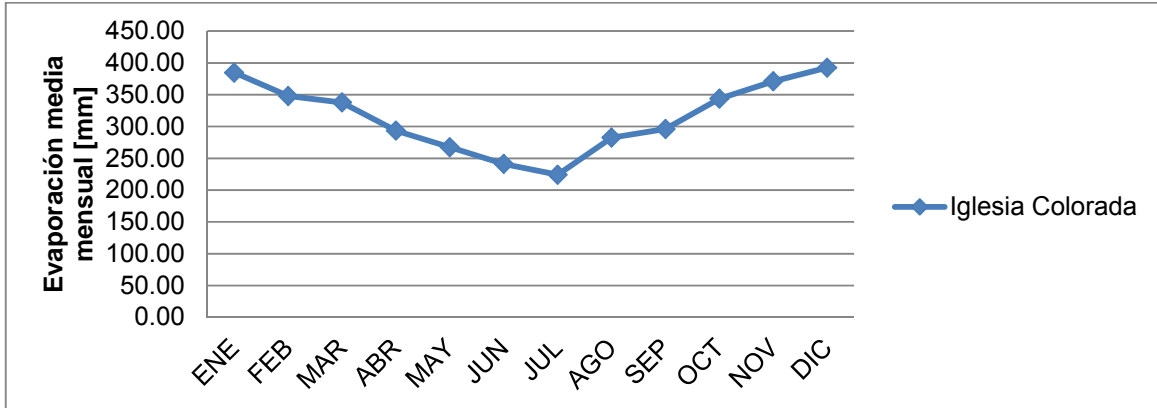


Figura 2.11: Evaporación media mensual en la Estación Iglesia Colorada.
(Fuente: Elaboración propia)

2.2.2.2 Meteorología local

En términos generales, en la caracterización hecha por Risacher et al. (2003) para todos los salares altiplánicos entre la I y III Región, se describe que el Salar de Maricunga tiene una temperatura promedio de 2°C y precipitación anual de 120 mm por año (Tabla 2.20). Por otro lado la laguna del Negro Francisco está caracterizada con temperaturas promedio de -1°C y precipitación de 200 mm anuales (Risacher et al., 2003).

Tabla 2.20: Características fisiográficas y climáticas de las cuencas cerradas del Salar de Maricunga y Laguna del Negro Francisco (Risacher et al., 2003).

Características fisiográficas y climáticas de las cuencas cerradas en el norte de Chile			
		SALAR DE MARICUNGA	LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO
Altitud	(m)	3760	4110
Altura max	(m)	6893	6052
Temperatura promedio	(°C)	2	-1
Precipitación	(mm/año)	120	200
Evap	(mm/año)	1100	1000

Los datos climáticos se han tomado del Balance Hídrico de Chile (DGA, 1987). La evaporación potencial (EVAP) medida con evaporímetros clase A ha sido corregida por un factor de 0,65. Altmax es la elevación más alta de la cuenca de drenaje.

Respecto de la información meteorológica registrada por estaciones ubicadas dentro del área de estudio, se encontraron descripciones realizadas para proyectos presentados en el SEIA, donde los periodos de medición son de aproximadamente un año.

La estación meteorológica Lobo-Marte tiene registros desde enero 1997 a diciembre 1998 para temperatura media mensual. La estación se ubicó a una altura de 4090 m.s.n.m en las coordenadas UTM 498142 Este y 6991612 Norte (Datum WGS 84), en el sector de la quebrada Ciénaga Redonda (GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011). Además existen mediciones de 4 estaciones que se instalaron para la evaluación del proyecto Lobo Marte y midieron entre 2009 y 2010 (Tabla 2.21).

Tabla 2.21: Estaciones meteorológicas del proyecto Lobo-Marte. (Fuente: AMEC, junio 2011)

Estación Meteorológica	Coordenadas UTM (Datum WGS84)	Altitud (m.s.n.m.)	Fecha	Variable registrada	
Marte	498.705 E – 6.992.436 N	4.070	Julio 2009 a Julio 2010	Temperatura Humedad Relativa Precipitaciones Radiación Solar Presión Atmosférica Velocidad del Viento Dirección del Viento*	Estabilidad Atmosférica* Evaporación (variable medida desde marzo 2010)* Altura de Nieve* Sigma Theta*
Lobo	497.879 E – 6.987.406 N	4.114	Julio 2009 a Julio 2010	Temperatura, Humedad Relativa Precipitaciones Radiación Solar (variable medida desde septiembre 2009)	Velocidad del Viento Dirección del Viento* Altura de Nieve* Sigma Theta* Estabilidad Atmosférica*



Estación Meteorológica	Coordenadas UTM (Datum WGS84)	Altitud (m.s.n.m.)	Fecha	Variable registrada	
LM-02 (Salar de Maricunga)	488.425 E – 7.006.351 N	3.792	Marzo 2010 a Julio 2010	Temperatura Humedad Relativa Velocidad del Viento	Dirección del Viento* Sigma Theta* Estabilidad Atmosférica*
LM-06 (Loma Amarilla)	501.657 E – 6.991.513 N	4.059	Marzo 2010 a Julio 2010	Temperatura Humedad Relativa Velocidad del Viento	Dirección del Viento* Sigma Theta* Estabilidad Atmosférica*

* No se presentan los datos en el informe de EIA.

Además, en el proyecto realizado por la PUC (DGA-PUC SIT N°195-parte X, 2009) se informa de 1 estación pluviométrica instalada en la cuenca del Salar de Maricunga y 2 estaciones instaladas en el Salar de Pedernales (Tabla 2.18), que midieron entre noviembre 2007 y octubre 2008.

Para el proyecto Minero Refugio Pertenece a la Compañía Minera Maricunga se instaló una estación meteorológica. Se pudieron obtener los datos diarios registrados por el plan de seguimiento del proyecto entre los años 2006 y 2011, sin embargo no fue informada las coordenadas de ubicación de la estación ni su altura y la información no ha sido validada por ningún organismo público.

Tabla 2.22: Estaciones meteorológicas del proyecto Refugio de Compañía Minera Maricunga (Fuente: MMA).

Fecha	Variables registradas a nivel diario	
Ene 2006 – Dic 2011	Temperatura promedio Temp. Máxima Temp. Mínima Humedad Relativa promedio	Radiación Solar promedio Presión Atmosférica promedio Vel. del Viento Dirección del Viento Ráfaga de Viento Evapotranspiración (variable medida entre abril 2006 a junio 2008)

Tabla 2.23: Disponibilidad de información de estación meteorológica del proyecto minero Refugio.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Enero	✓	✓	✓	✓	✓	-
Febrero	✓	✓	✓	✓	✓	-
Marzo	✓ M	✓ M	✓	✓	✓	-
Abril	✓	✓	✓	✓	✓	-
Mayo	✓	✓	✓	✓	✓	-
Junio	✓	✓	✓	✓	✓	-
Julio	✓	✓	-	✓	-	✓
Agosto	✓	✓	-	✓	-	✓
Septiembre	✓	✓	-	✓	-	✓
Octubre	✓	✓	-	✓	-	✓
Noviembre	✓	✓	-	✓	-	✓
Diciembre	✓	✓	-	✓	-	✓

M : con algunos días sin datos por mantenimiento
 ✓ : datos registrados todos los días del mes
 - : sin datos

2.2.2.2.1 Temperatura local

La Estación Lobo-Marte (1997-1998) muestra una variación de más de 13°C entre la temperatura media de enero de 1997 que es de 8 °C y la temperatura media mensual de de junio de 1997 que es cercana a -5°C (GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011).



Figura 2.12: Registro de temperatura media mensual estación Lobo-Marte entre 1997 y 1998. (Fuente: GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011)

Según los registros en las estaciones Lobo (2009) y Marte (2010) la temperatura promedio en los meses de invierno y comienzos de la primavera está por debajo de los 0°C (Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre), mientras que en verano sólo alcanza los 8 °C. En la estación del Salar de Maricunga (LM-02) no se midieron todos los meses del invierno ni tampoco los meses de verano, pero en los meses en que existe registro se puede ver que en los meses de mayo y junio la temperatura promedio fue aproximadamente 1°C mayor que en las otras estaciones, que se encuentran a una altura mayor (Figura 2.13).

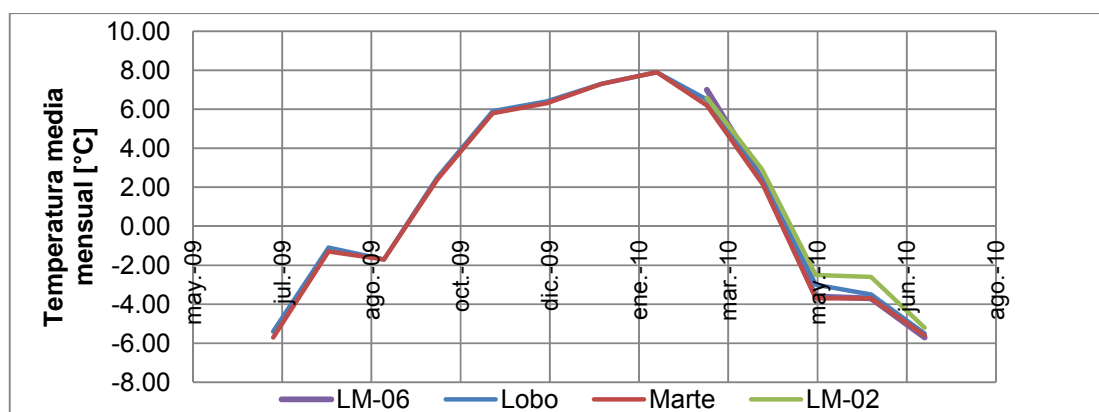


Figura 2.13: Temperatura media mensual en estaciones del proyecto Lobo-Marte entre 2009 y 2010. (Fuente: AMEC, junio 2011)

La temperatura analizada en las estaciones DGA y del estudio de la PUC, les permitió generar un mapa de isotermas acotado a la zona de estudio (DGA-PUC SIT N°195-parte

X, 2009). En el mapa de isotermas (Figura 2.14) se puede ver que la temperatura promedio en el Salar de Maricunga está entre 6° C en las zonas más bajas (3000 a 4000 m.s.n.m) y 2°C promedio en las zonas más altas (4000 a 5000 m.s.n.m). En la zona del corredor biológico entre los 2 sitios del parque Nevado de Tres Cruces las temperaturas promedio están entre 2 y 4°C. Y en la cuenca de la laguna del Negro Francisco las temperaturas promedio están entre 0 y 2°C.

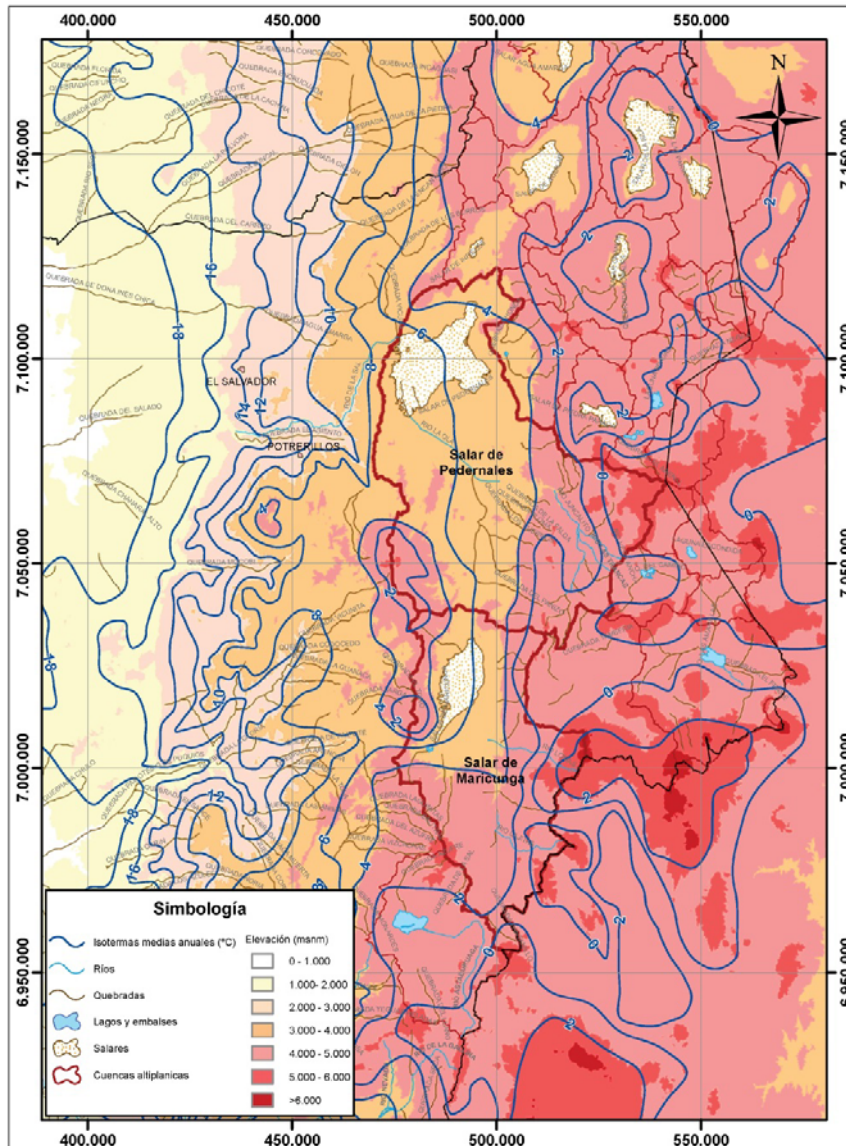


Figura 2.14: Mapa de isotermas en la zona del sistema piloto de la III Región estudio PUC-DGA (DGA-PUC SIT N°195-parte X, 2009).

Con respecto a la variación de temperatura durante un día completo, en la Figura 2.15 las estaciones del proyecto Lobo-Marte muestran una oscilación promedio de -8 a 8 °C en el salar de Maricunga, entre -5 y 7°C en las estaciones Lobo y Marte que están aproximadamente 300 metros más altas que la del salar de Maricunga (LM-2).

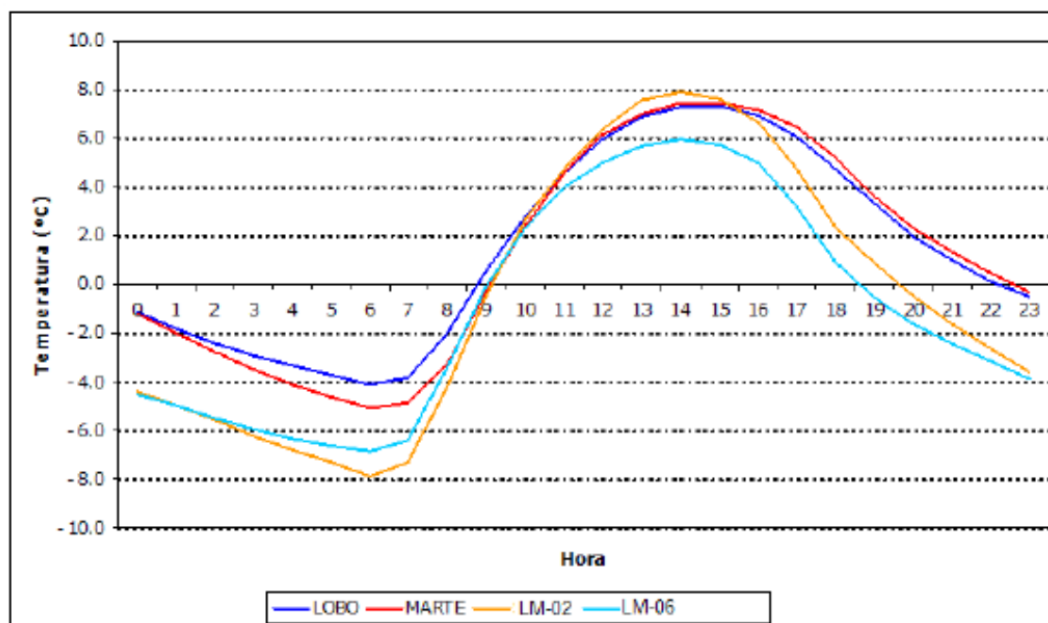
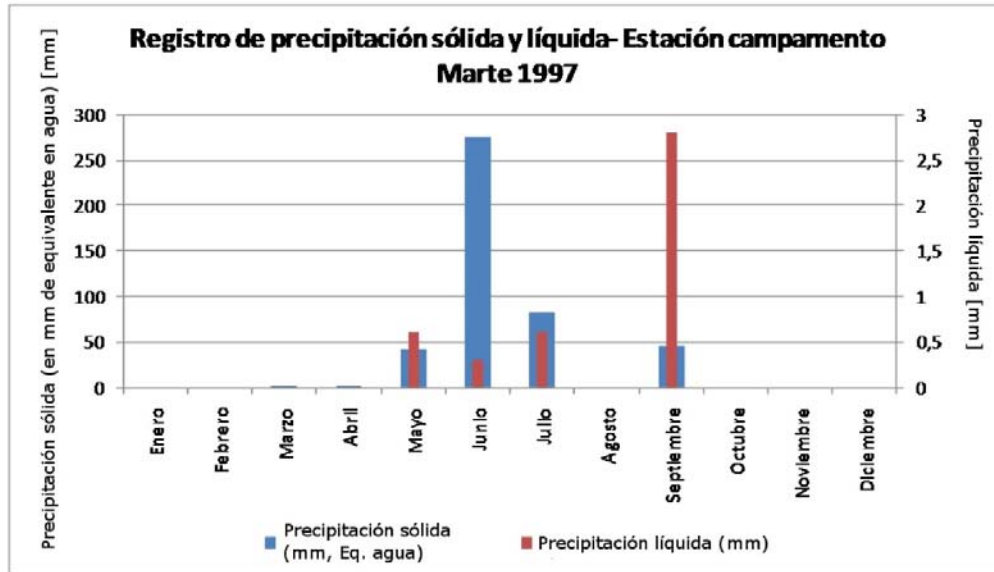


Figura 2.15: Oscilación diaria de temperatura en estaciones del proyecto Lobo-Marte (Fuente: AMEC, junio 2011).

2.2.2.2.2 Precipitación local

La precipitación en el área de estudio fue registrada por la estación Lobo-Marte el año 1997. Estos registros se presentan en la Figura 2.16 y consisten en precipitación líquida y altura de la capa de nieve (expresada como su equivalente en agua líquida). En la Figura 2.16 se puede ver como a esta altura es más importante la precipitación sólida que la registrada en forma líquida, lo que puede explicarse debido a las temperaturas bajo cero que alcanza esta estación durante los meses de invierno.



Nota: La precipitación total en términos de equivalente en agua registrada alcanzó los 451 mm.

Figura 2.16. Precipitación estación Lobo-Marte año 1997 (GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011)

La precipitación informada por el proyecto Reinicio y Expansión Lobo Marte (Amec, 2011), pertenece a las estaciones de Lobo y Marte, no se presentan mediciones de precipitación en el Salar de Maricunga (LM-02) ni en Loma Amarilla (LM-06).

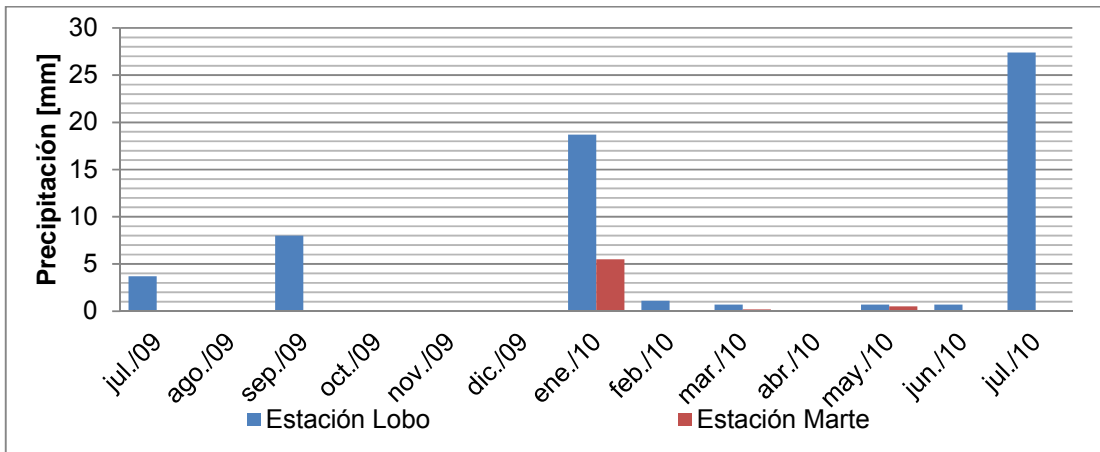


Figura 2.17: Precipitación Mensual Estaciones Lobo y Marte 2009 al 2010 (AMEC, junio 2011)

De acuerdo a estos datos la precipitación líquida anual en la estación Lobo (4114 msnm) alcanza a 33.8 mm durante el periodo 2009-2010, mientras que en la estación Marte (4070 msnm) alcanza a 6.2 mm de precipitación líquida anual. Estos valores difieren mucho entre sí para 2 estaciones que están a sólo 5 km lineales de distancia y a una altura similar (44 m de diferencia). Se podría suponer que las lluvias son con características locales que difieren mucho entre zonas distintas a pesar de tener la misma altura o bien que podría ser que la calibración y manipulación de las estaciones no es la

correcta, sin embargo, es necesario tener más información para dar una explicación real a este fenómeno.

La precipitación media anual en la estación Maricunga del estudio PUC-DGA alcanzó 8.2 mm, lo que es mucho menor a lo registrado en las estaciones de la DGA que están muy por debajo de la altura de la zona de estudio (DGA-PUC SIT N°195-parte X, 2009) y también es mucho menor de lo registrado por la estación Lobo. Se registraron tormentas de verano (enero) y de invierno (junio) con precipitación similar (Figura 2.18).

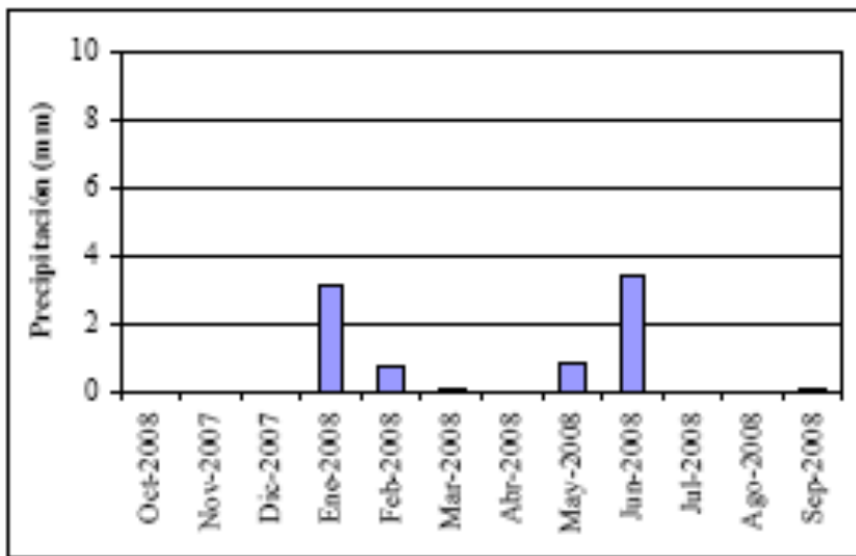


Figura 2.18: Serie de precipitación mensual para estación Maricunga PUC-DGA (DGA-PUC SIT N°195-parte X, 2009)

El análisis del estudio desarrollado por la PUC para la DGA permitió generar un mapa de isoyetas más acotado a la zona de estudio.

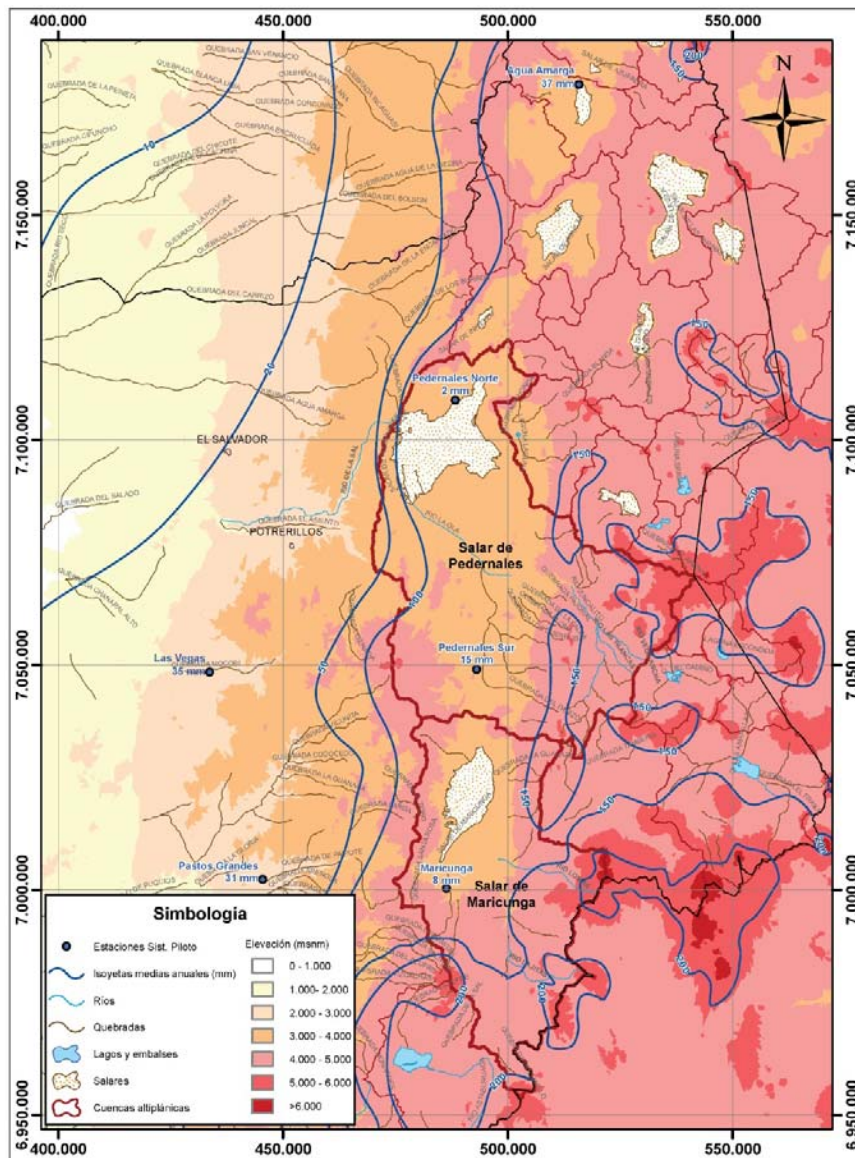


Figura 2.19: Mapa de isoyetas en la zona del sistema piloto de la III Región estudio PUC-DGA (DGA-PUC SIT N°195-parte X, 2009).

2.2.2.2.3 Radiación local

La radiación local registrada por las estaciones Lobo y Marte, muestra altos niveles de radiación promedio mensual por sobre los 170 Watts/m² en todos los meses registrados en el periodo 2009-2010, a altura de 4100 msnm aprox. Durante el mes de diciembre alcanza su valor máximo de 417 Watts/m² en la estación Lobo (4114 msnm)

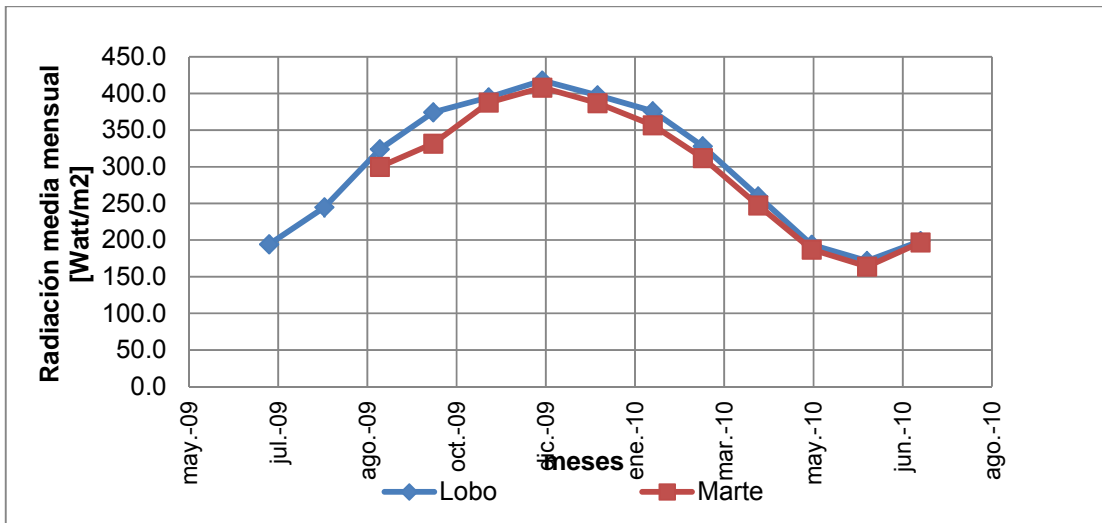


Figura 2.20: Variación de la radiación media mensual en el periodo 2009-2010, estaciones Lobo y Marte (Fuente: AMEC, junio 2011).

La variación de la radiación diaria promedio comienza a las 6 de la mañana teniendo su pick alrededor de las 13:00 hrs. con valores de 950 Watts/m².

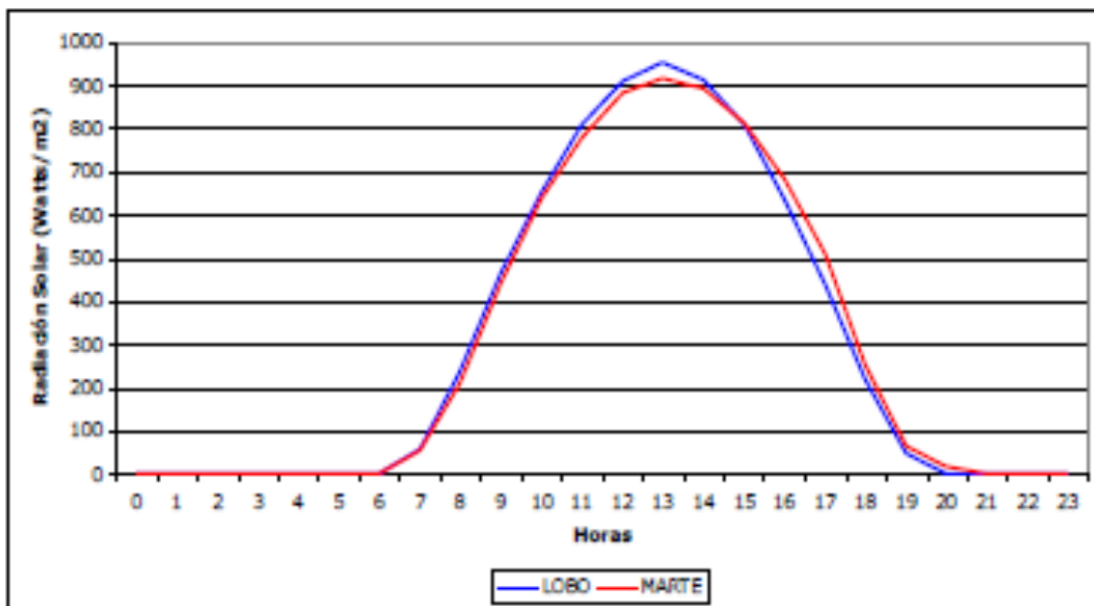


Figura 2.21: Variación horaria de la radiación solar media. Periodo 2009-2010 en Estaciones del proyecto de Reinicio y Expansión Lobo-Marte. (Fuente: Amec, 2011)

2.2.2.2.4 Presión Atmosférica local

Sólo se entrega el registro de presión atmosférica de la estación Lobo, en las demás estaciones no se informan registros. La presión atmosférica media mensual varía durante el año entre 619.3 hPa en julio de 2009 a 624.5 hPa en marzo de 2010, registrándose un

alza temporal de 621.8 hPa en el mes de agosto de 2009, mes en el que se registra una disminución de la temperatura media.

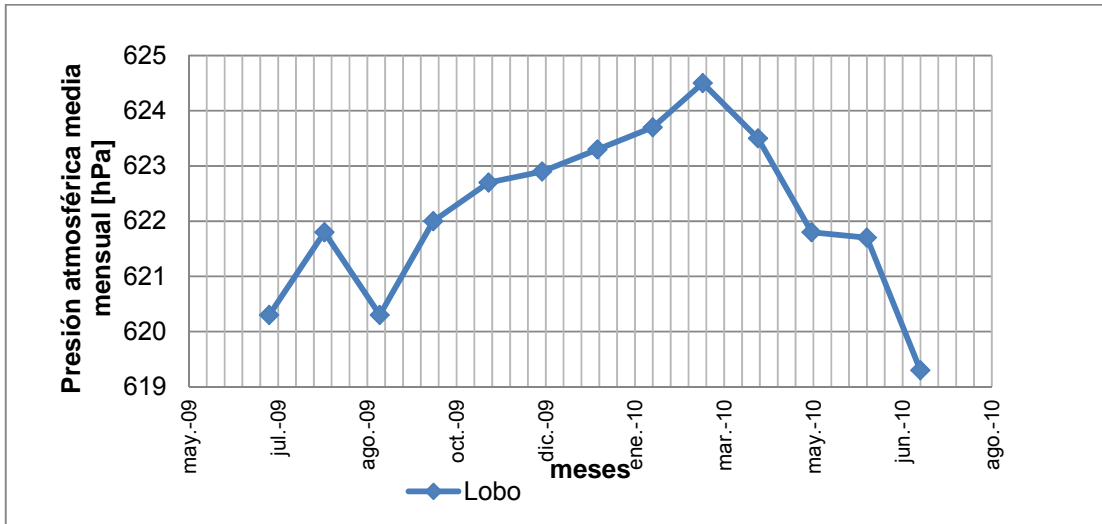


Figura 2.22: Presión atmosférica media mensual en el periodo 2009-2010, estación Lobo (Fuente: AMEC, junio 2011).

Con respecto a la variación horaria media, la presión atmosférica tiene 2 máximos durante el día a las 0:00 hrs. y las 10:00 hrs, cercano a 623 hPa². Los valles se dan a las 5:00 hrs. y a las 17:00 hrs. con valores de 622 y 621.5 hPa, respectivamente.

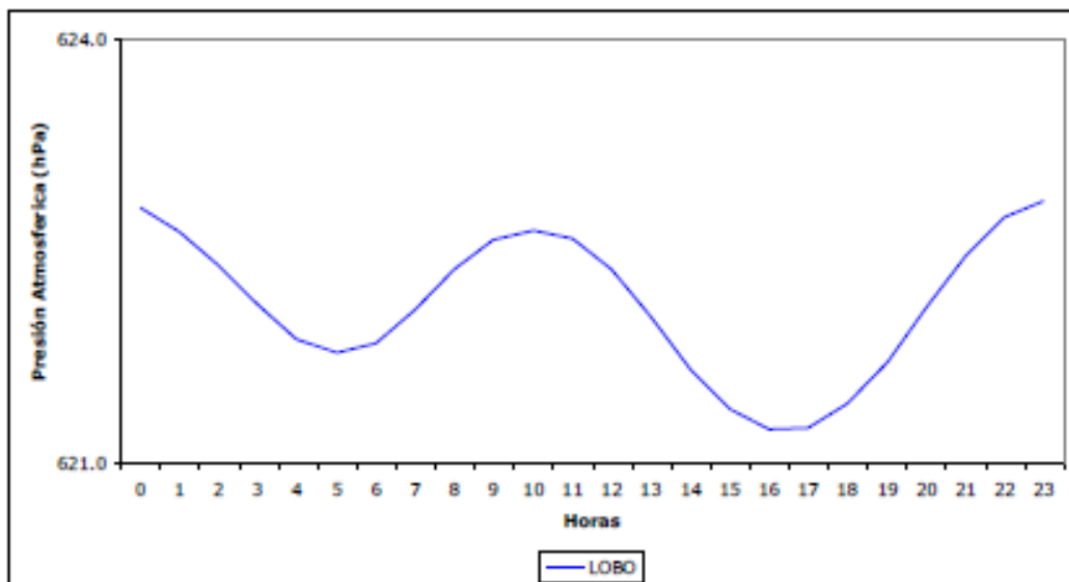


Figura 2.23: Distribución Horaria Presión Atmosférica. Periodo 2009-2010 en Estaciones del proyecto de Reinicio y Expansión Lobo-Martes. (Fuente: Amec, 2011)

² Hectopascal: hPa=10² Pa

2.2.2.2.5 Evaporación local

En la estación Lobo-Marte en el año 1997 entre abril y diciembre se midió la evaporación de tanque, pero sólo se obtuvieron datos los meses de Abril (114 mm), noviembre (267 mm) y diciembre (312 mm), pues en los otros meses el agua del evaporímetro se congeló (GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011).

En el informe de AMEC (2011) para la línea de base meteorológica del proyecto Reinicio y Expansión Lobo Marte, a pesar de que se indica que la estación Lobo midió evaporación desde marzo a junio del 2010 los valores no son informados.

En el estudio realizado por la PUC para la DGA se generó una curva de evaporación de tanque regional en función de la elevación (Figura 2.24). Según esta curva la evaporación de tanque entre 1100 y 3000 m.s.n.m corresponde a un valor aproximadamente constante de a 3100 mm/año. Por sobre los 3000 m.s.n.m. la evaporación disminuye 93.3mm cada 100 m (DGA-PUC SIT N°195-parte X, 2009). Cabe notar que en la determinación de esta curva no existieron datos de evaporación de tanque por sobre los 2000 m.s.n.m. en la III Región.

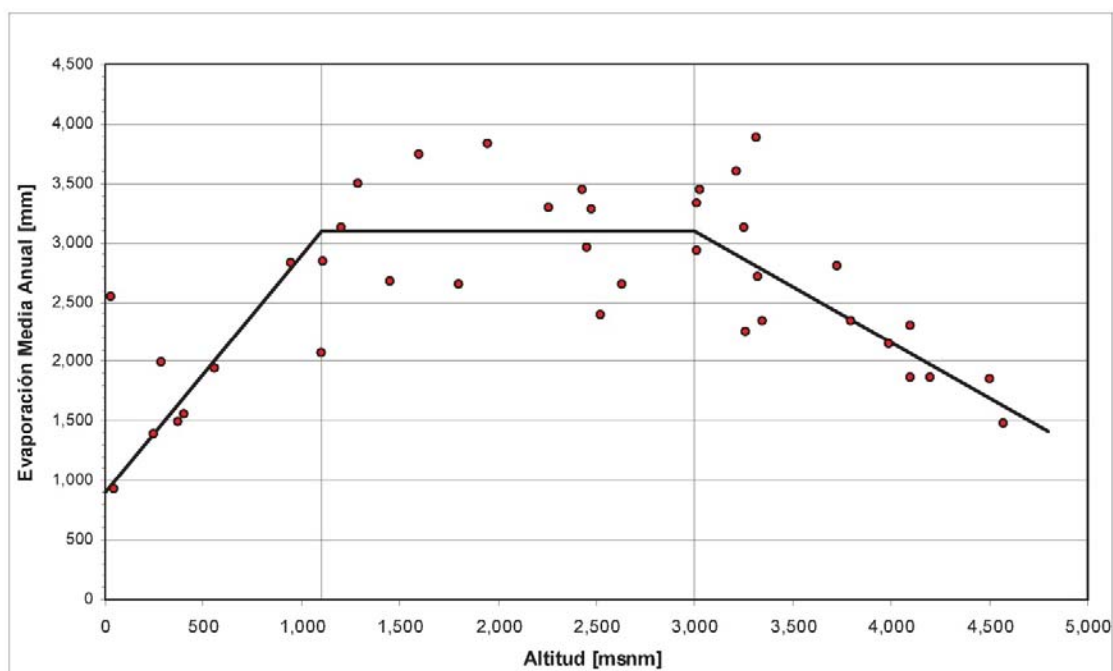


Figura 2.24: Curva de evaporación media anual de tanque según altitud para las regiones I, II, III y IV (DGA-PUC SIT N°195-parte X, 2009).

En la línea de base hidrogeológica del proyecto Reinicio y Expansión Lobo Marte, se presentan mediciones de la evaporación de los suelos realizada por la PUC para la DGA (DGA-PUC SIT N°195-parte VII, 2009) con el método del domo, este método permite medir la evaporación en suelos donde la napa está por debajo de 0.5 m de profundidad y contempla la instalación de una semiesfera de acrílico donde un sensor que mide la humedad relativa y la temperatura.

Dentro de las mediciones realizadas por el PUC, la zona 11 corresponde al sector norte del Salar de Maricunga y la zona 12 es el sector sur de dicho salar. En la Tabla 6.15, se presenta la ubicación cartográfica de los puntos medidos y en la Tabla 6.16 y Tabla 6.17 se exponen los valores medidos por la PUC en esas zonas.

Los resultados de la medición realizada por la PUC muestran que la textura del suelo donde se realizaron las mediciones era franco arenoso en las cercanías del cuerpo de agua y ganando en contenido de arena a medida que se aleja.

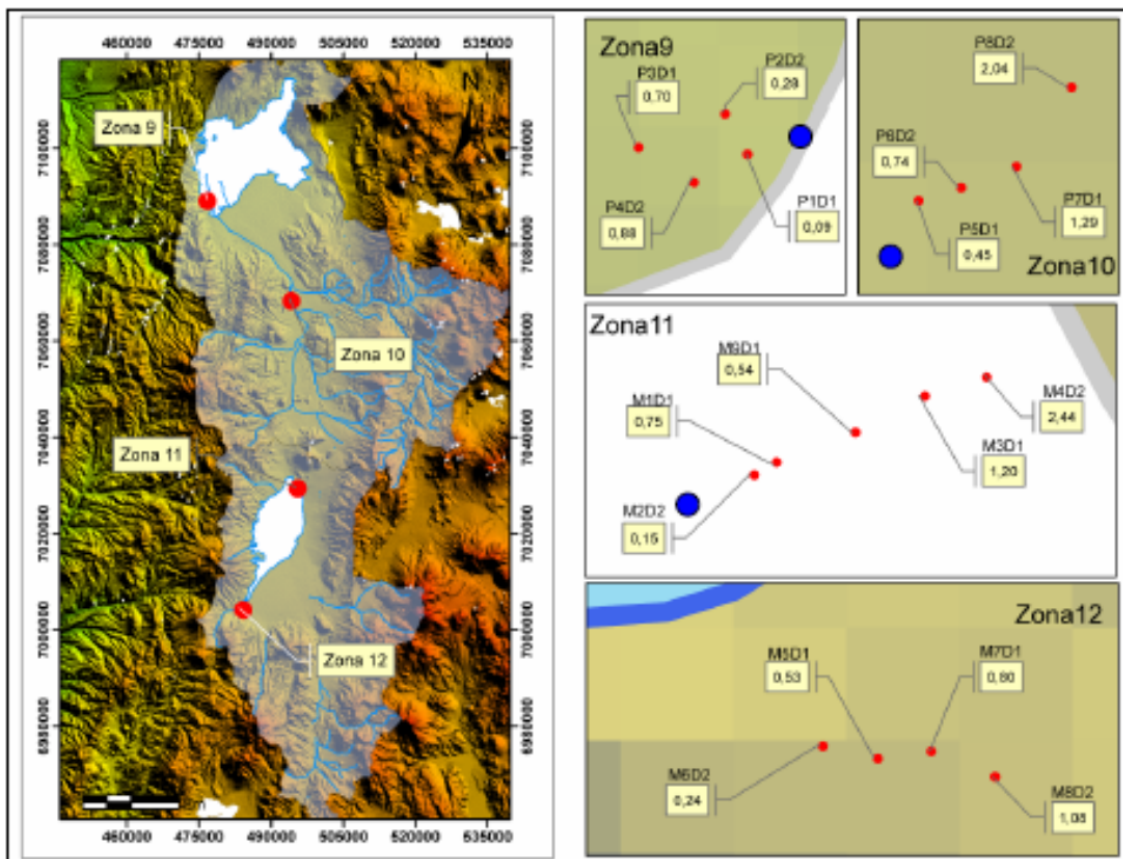


Figura 2.25: Zonas de medición del estudio de la PUC realizado para DGA (DGA-PUC SIT N°195-parte VII, 2009).

Los resultados del estudio desarrollado por la PUC permiten tener una curva que relaciona la profundidad de la napa con la evaporación. Con la napa en la superficie (profundidad cero) se alcanzan valores de 6 mm/día de evaporación, esto es 2190 mm/año. Este último valor es más del doble que el estimado por Risacher (2003) para la evaporación superficial en el salar de Maricunga.

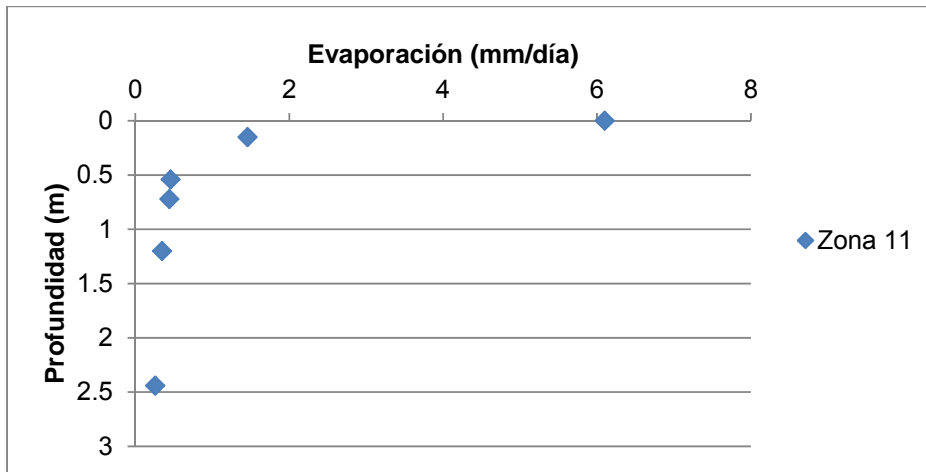


Figura 2.26: Evaporación de domo en función de Profundidad del nivel freático, Zona Norte del Salar de Maricunga (Zona 11).

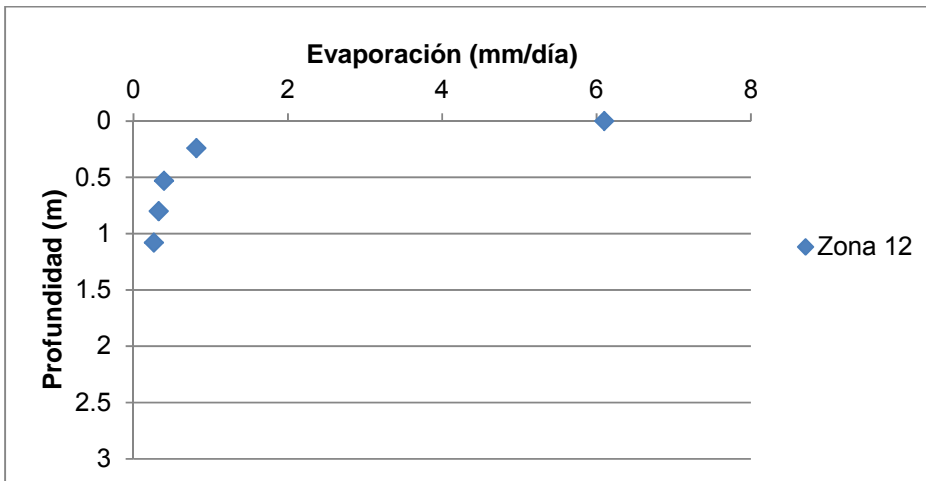


Figura 2.27: Evaporación de domo en función de Profundidad del nivel freático, Zona Sur del Salar de Maricunga Maricunga (Zona 12).

Tabla 2.24: Resumen de tasas de evaporación encontradas para la zona de estudio.

Fuente	Sector	Metodología	Evaporación estimada (mm/año)
Risacher et al. 2003	Salar de Maricunga	Desconocida*	1100
	Laguna del Negro Francisco	Desconocida*	1000
GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011	Estación Lobo-Martel	Evaporación de tanque	Abril: 1368
			Noviembre: 3204
			Diciembre: 3744
DGA-PUC SIT N°195-parte X, 2009	Altura 3000 m.s.n.m.	Evaporación de tanque, curva de variación por altura (sin datos de la III Región a más de 2000 m.s.n.m.)	3100
	Altura 4500 m.s.n.m.	Evaporación de tanque, curva de variación por altura (sin datos de la III Región a más de 2000 m.s.n.m.)	1700
DGA-PUC SIT N°195-parte VII, 2009	Zona 11: Salar de Maricunga	Evaporación de Domo	a nivel superficial: 2227
	Zona 12: Laguna Santa Rosa	Evaporación de Domo	a nivel superficial: 2227
* No está especificada, pero se presume metodología de tanque			

2.2.2.2.6 Humedad relativa local

La humedad media mensual registrada llega a valores máximos de 46.3% el mes de mayo en la estación del Salar de Maricunga, lo que indica el carácter seco de la región. Los meses de menor humedad coinciden con los de mayores velocidades de viento, es decir, Agosto y Septiembre.

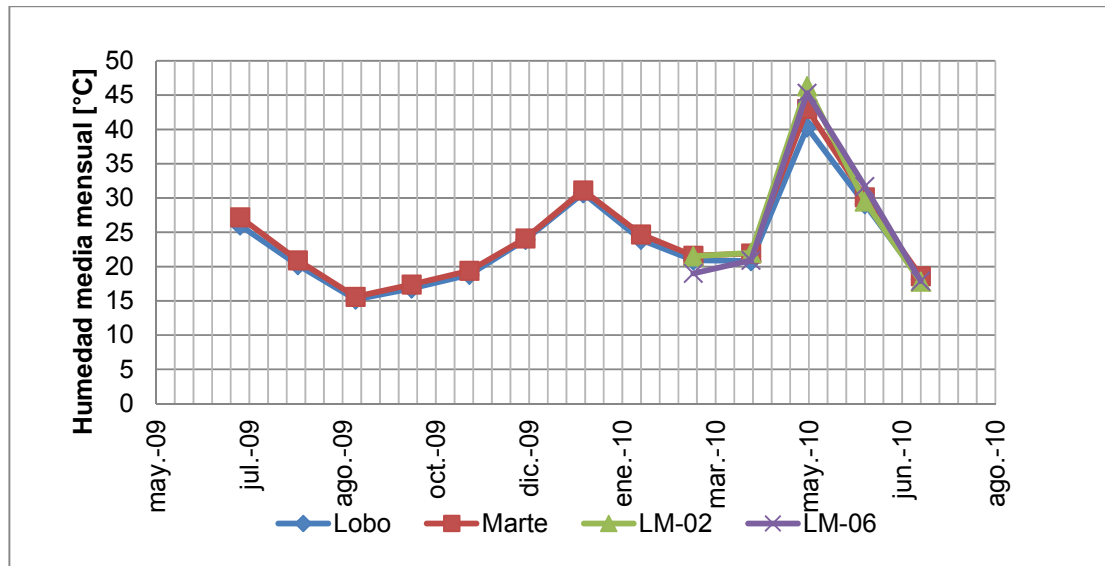


Figura 2.28: Humedad media mensual en el periodo 2009-2010, estaciones proyecto Lobo-Marte (Fuente: AMEC, junio 2011).

La variación diaria de la humedad (Figura 2.29) indica que durante la noche alcanza su máximo y desciende a medida que se recibe mayor radiación, alcanzando el mínimo al medio día.

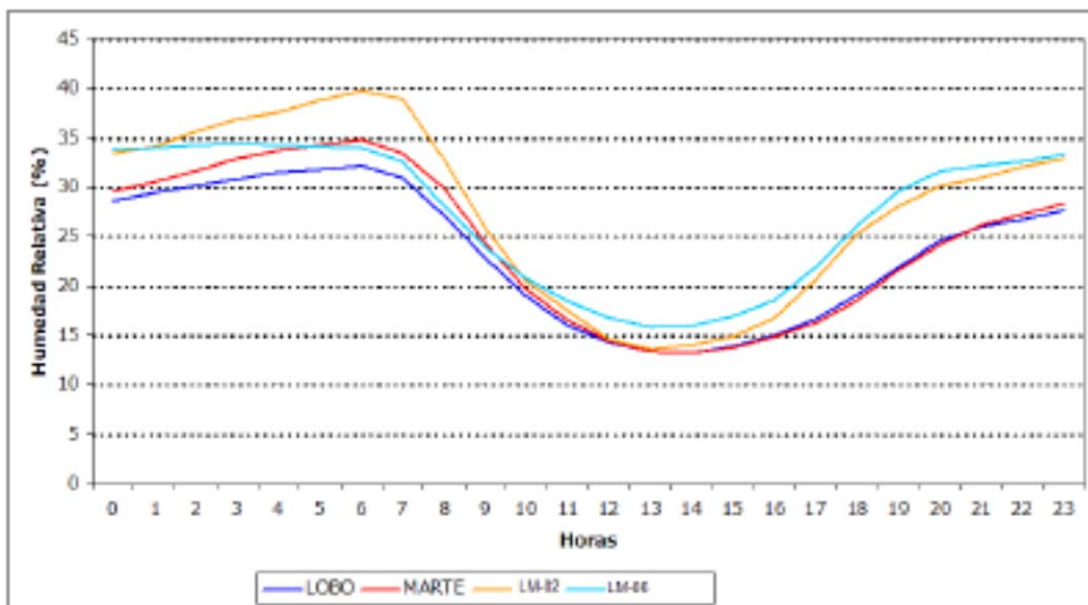


Figura 2.29: Distribución horaria humedad relativa año 2010 en Estaciones del proyecto de Reinicio y Expansión Lobo-Marte (Fuente: Amec, 2011).

2.2.2.2.7 Viento local

La distribución anual de vientos registrada en Lobo-Marte muestra que el periodo con con mayores velocidades de viento es entre junio y septiembre. En el Salar de Maricunga (LM-02) no se registraron todos esos meses, pero puede verse como la curva sigue la misma tendencia. La gráfica de distribución de la velocidad de viento horaria de las estaciones ubicadas en Lobo-Marte muestra que el viento pasa de una condición estable alrededor de los 4 m/s a un incremento de viento a partir de las 9 AM llegando a valores cercanos a 10 m/s. Para luego descender nuevamente a 4 m/s a las 23 hrs. El viento en el Salar de Maricunga tiene una distribución horaria similar con un rango de velocidad de entre 3 y 9.5 m/s, sin embargo las mediciones en esta estación sólo fueron entre marzo y julio.

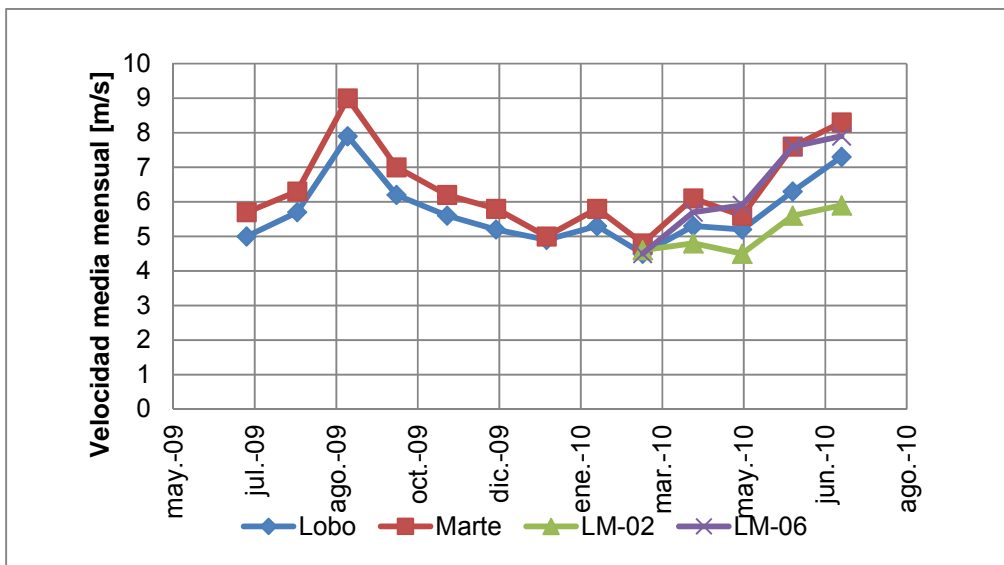


Figura 2.30: Velocidad de viento media mensual en el periodo 2009-2010, estaciones proyecto Lobo-Marte (Fuente: AMEC, junio 2011).

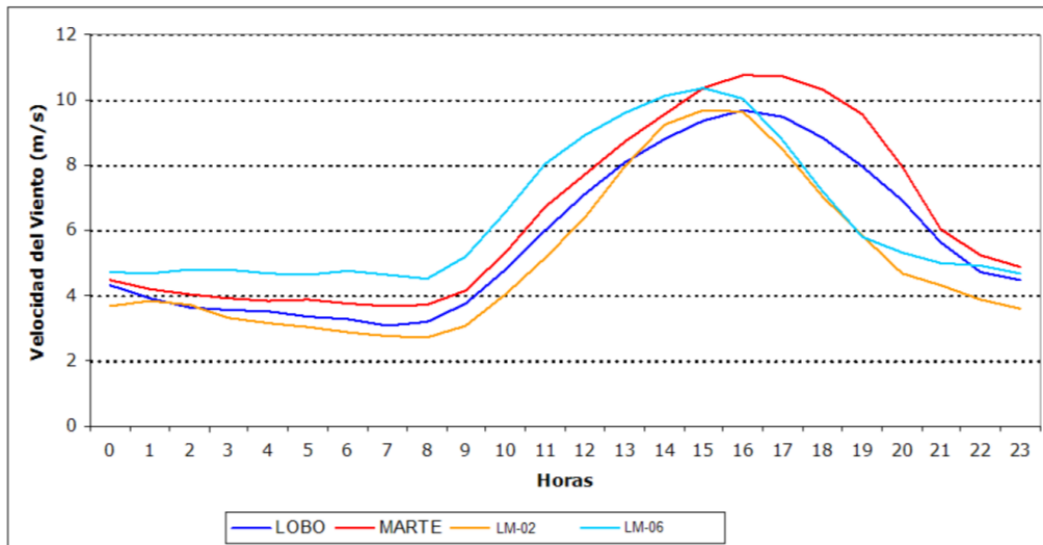


Figura 2.31: Distribución horaria Velocidad del viento año 2010 en Estaciones del proyecto de Reinicio y Expansión Lobo-Marte (Fuente: Amec, 2011).

Con respecto a las direcciones registradas en la Figura 2.32 la componente principal del viento es Noroeste. El porcentaje de Clamas del ciclo completo es 0.64%, del ciclo diurno 0.36% y del ciclo nocturno es 0.97%. Además, las direcciones cambian durante el día a las 8:00 AM se dirigen hacia el suroeste y luego giran hacia el sur alrededor de las 11:00AM, a las 14:00hrs vuelven a girar esta vez hacia el este.

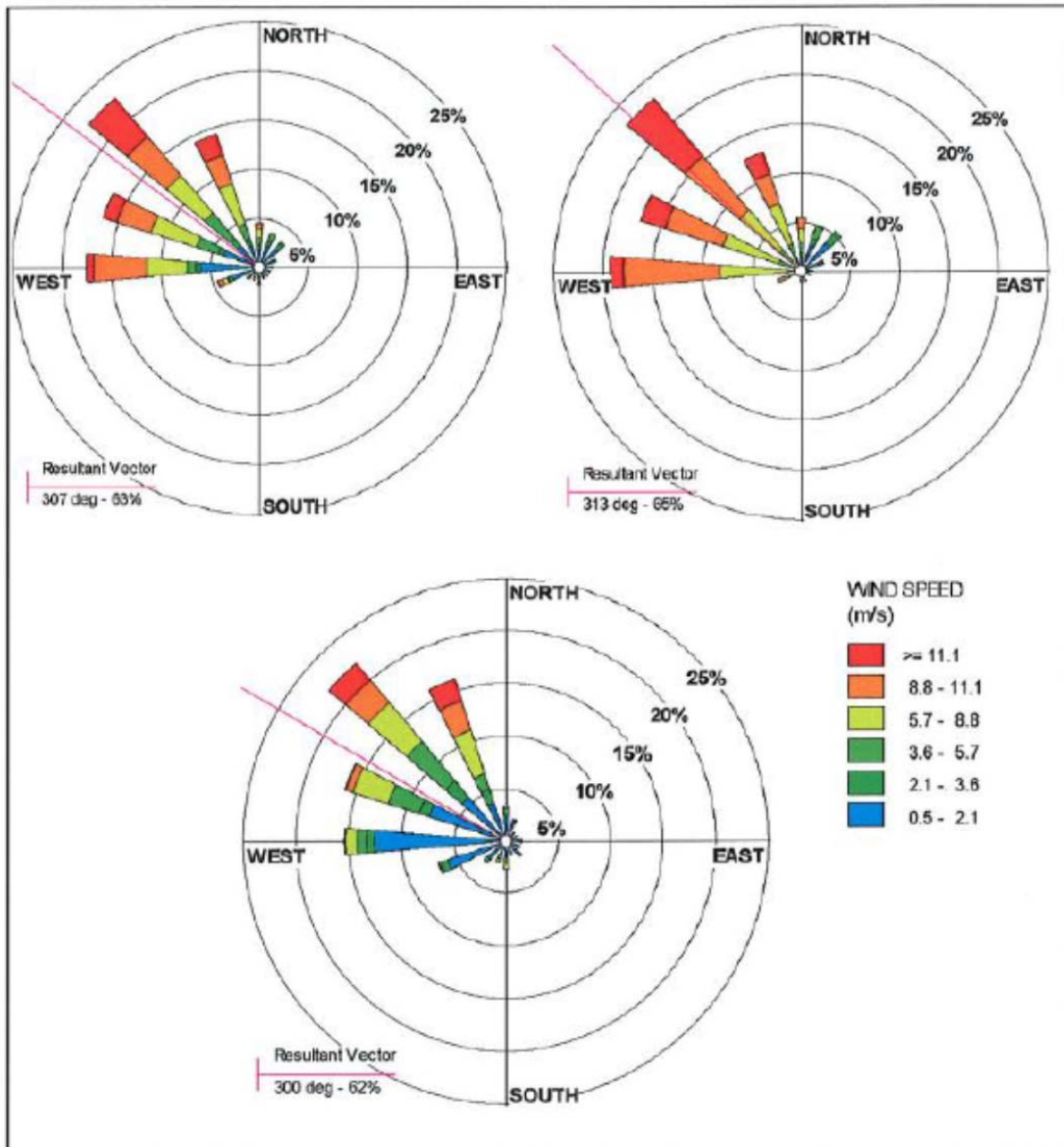


Figura 2.32: Distribución Dirección del Viento en Lobo-Marté (Ciclo completo Anual, ciclo diurno y ciclo Nocturno)



2.2.3 Hidrografía

Cuencas endorreicas de la región de Atacama

Se definió cómo área de interés para la caracterización de las demandas hídricas, las cuencas dentro del polígono formado por las coordenadas 7100620 Norte; 405606 Oeste; 6897868 Norte y 577856 Oeste (UTM, WGS84). Dentro de este polígono se encuentran las subcuencas delimitadas por la DGA-BNA (S.D.T. N°43, 2000) que se detallan en la Figura 2.33.

En el año 2008 un estudio realizado por el DICTUC para la DGA (SIT N°157-parte I, 2008), redefinió las cuencas altiplánicas de las regiones XV, I,II y III analizando la conexión superficial de las cuencas, utilizando para ello modelos de elevación digital del USGS³ (DEM), imágenes satelitales LANDSAT, y otros estudios anteriores en las cuencas endorreicas en el norte de Chile (DGA – UCN – IRD S.I.T. N°51, 1999). Como resultado de ese trabajo en la nueva delimitación aparecen cuencas separadas en 2 o más hoyas o bien unidas a otras en una sola cuenca (Figura 2.34).

³ U.S. Geological Survey (<http://seamless.usgs.gov>)

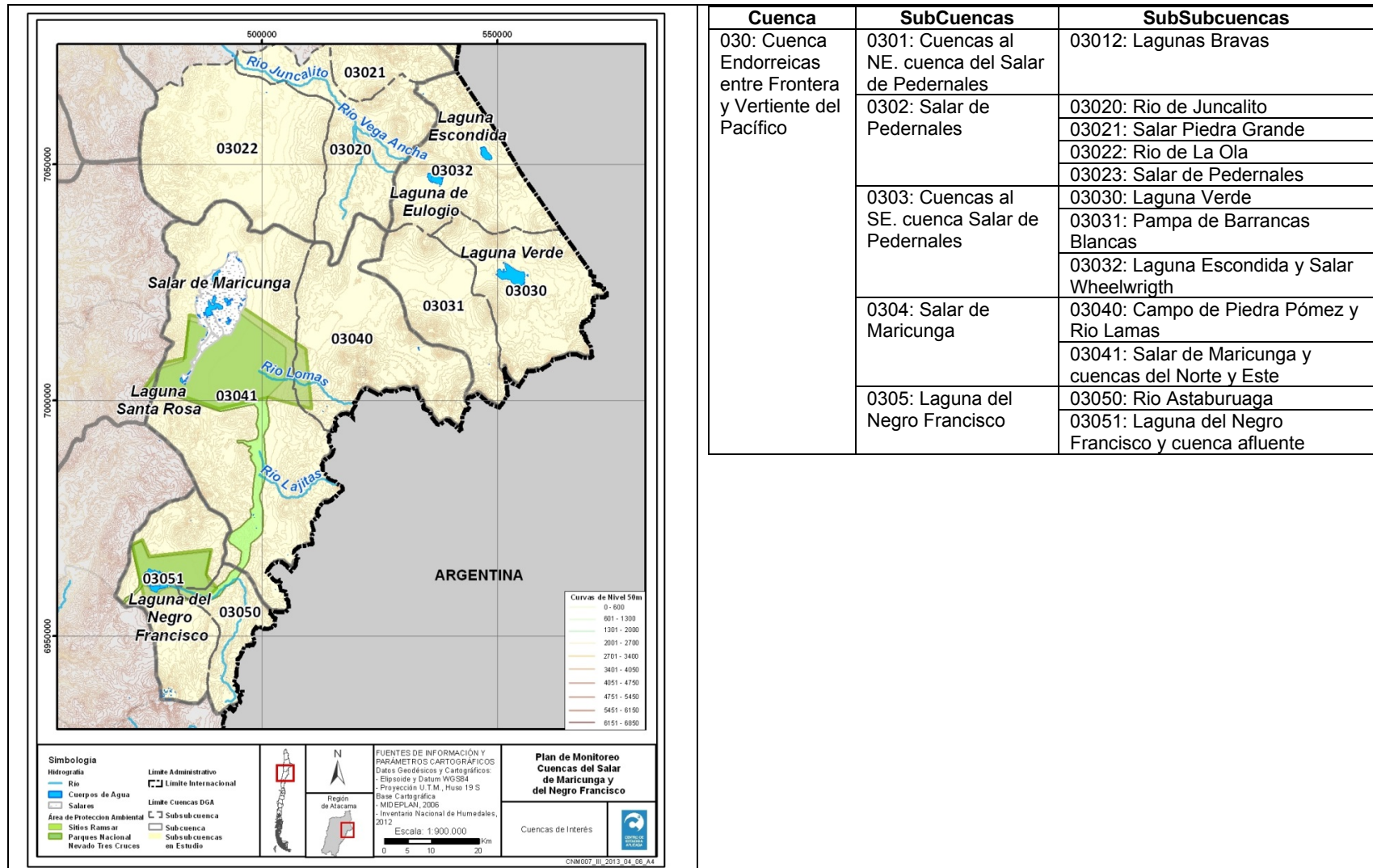


Figura 2.33: Subsubcuencas de interés en la zona de estudio (Fuente: DGA).

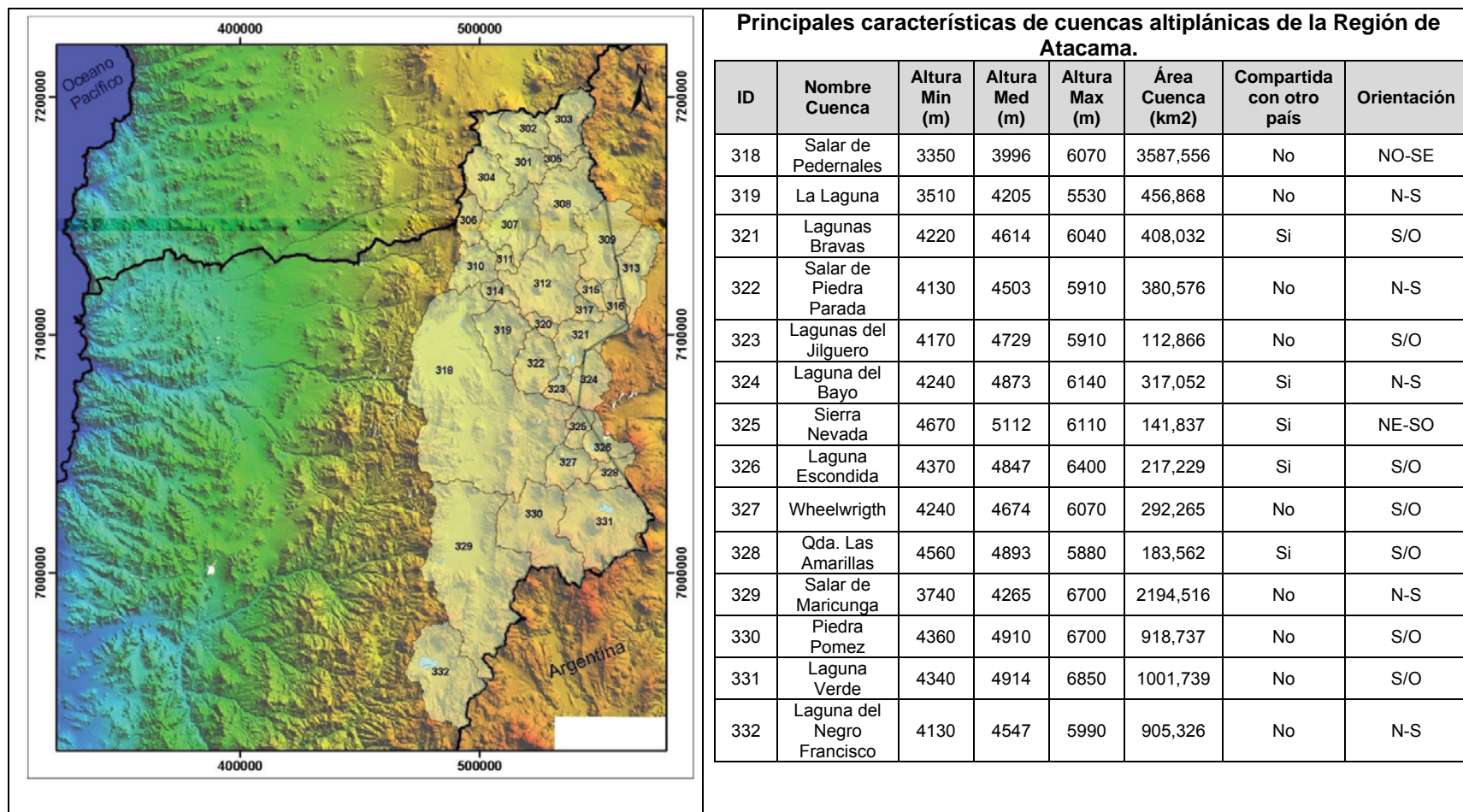


Figura 2.34: Ubicación geográfica de cuencas altiplánicas de la Región de Atacama. (Fuente: DGA, 2008).



A continuación se describen brevemente las características de las subcuencas delimitadas por el DICTUC (DGA, 2008) y que se encuentran dentro de la zona de interés para el análisis de balances subterráneos de agua.

Cuenca del Salar de Pedernales

Dentro de la subcuenca del “Salar de Pedernales” (Rol-BNA: 0302) la DGA identifica las subsubcuencas Río de Juncalito (Rol-BNA: 03020), Salar Piedra Grande (Rol-BNA: 03021), Río de La Ola (Rol-BNA: 03022) y Salar de Pedernales (Rol-BNA: 03023), según la división del BNA. El estudio DICTUC dividió la subsubcuenca del Salar Piedra Grande en las cuencas de *Salar de Piedra Parada* y en *Lagunas de Jilguero*. Además separó de la subsubcuenca del Salar de Pedernales definida por la DGA las subcuencas de *La Quebrada los Maitenes* y de *La Laguna*. La cuenca del Salar de Pedernales considera una superficie de 4.900 km² y el salar, propiamente tal, una superficie de 300 km² y está a 3450 msnm (Niemeyer y Cereceda, 1984).

La cuenca del *Salar de Pedernales* era una cuenca de tipo endorreica, sin embargo, desde la década de 1930 está conectada con la cuenca del río Salado por una obra de descarga que atraviesa la cordillera de Domeyko, ubicada en su borde nor-oeste y que en esa zona tiene 200 metros de espesor. En la zona sur limita con la Sierra Bora. Esta subcuenca tiene una altitud media de 3992 msnm y su geología está formada por terrenos sedimentarios, formaciones volcánicas y rocas plutónicas. En su parte nor-oeste en la parte más baja de la cuenca se encuentra ubicado el Salar de Pedernales. Los ríos más importantes de esta subcuenca son el río La Ola y sus afluentes el río Juncalito y río Leoncito, estos 2 últimos de escurrimiento permanente (DGA-parte I, 2008).

Cuenca al NE cuenca del Salar de Pedernales

Dentro de la “Cuenca al NE cuenca del Salar de Pedernales” (Rol-BNA: 0301) se encuentra la subsubcuenca de Lagunas Bravas. Ésta limita por el oeste con la cuenca del salar Grande y por el sur con la hoya del salar de Parinas. El área de esta cuenca es de 408 km² y su altura media de 4612msnm. Los cerros Pajonales, Morado y Lagunas Bravas son los que definen los patrones de escurrimiento al interior de la cuenca. Las 3 lagunas al interior de la subsubcuenca de Lagunas Bravas están conectadas y alineadas en el sentido de escurrimiento de norte a sur. Una de sus quebradas más importantes es la de Barrancas Blancas que se infiltra en el sector de Pampa Amarilla (DGA-parte I, 2008).

Cuencas al SE. del Salar de Pedernales

En las “Cuencas al SE. Del Salar de Pedernales” (0303) la DGA identifica las subsubcuencas de Laguna Verde (03030), Pampa de Barrancas Blancas (03031) y de la Laguna Escondida y Salar Wheelwright (03032). El estudio DICTUM, por su parte, redelimita el sector separando las cuencas de *Laguna Escondida*, *Wheelwright*, *Sierra Nevada*, *Quebrada Las Amarillas* (estas 2 últimas dentro de la subsubcuenca de Laguna Escondida y Salar Wheelwright según DGA) y *Laguna Verde* (que incluye a Pampa de Barrancas Blancas).

La subsubcuenca de la *Laguna Escondida* se encuentra dividida en partes similares entre los países de Chile y Argentina, por lo que recibe aportes de quebradas de la zona



argentina. Laguna escondida corresponde a una cuenca de tipo endorreica, la laguna propiamente tal está ubicada a los pies del cerro Laguna Escondida. La cuenca del *Salar de Wheelwright* limita al nor-oeste con la Cuenca del Salar de Pedernales. (DGA- S.I.T. N°157 parte I, 2008).

Cuenca del Salar de Maricunga

La DGA definió la subcuenca del Salar de Maricunga (Rol-BNA: 0304) y la dividió en la subsubcuenca de Campo de Piedra Pómez y río Lamas (Rol-BNA: 03040) y la subsubcuenca del Salar de Maricunga y cuencas del Norte y Este (Rol-BNA: 03041). El estudio realizado por DICTUC, ya citado, utilizó estas subcuencas como cuencas independientes, cambiando principalmente el límite este de la cuenca de *Piedra Pómez*.

Hay estudios que suponen a las cuencas de Piedra Pómez y del Salar de Maricunga, conectadas a través del portezuelo de Tres Cruces (4386 msnm), ya que la cuenca de Piedra Pómez no forma salar ni laguna a pesar de su considerable superficie (Risacher et al., DGA-UCN-IRD, 1999). Por otro lado en el estudio hidrogeológico del sector Quebrada Piedra Pómez realizado por EDRA (1999) se señala que no habría conexión entre las cuencas y se estima un flujo subterráneo en la dirección norte a sureste que se dirige hacia la frontera (DGA-DICTUC, S.I.T. N°195-parte X, 2009).

La cuenca del Salar de Maricunga es de tipo endorreica, es decir, sus descargas llegan a un cuerpo de agua cerrado, que en este caso es el Salar. La cuenca limita con Argentina por el sur-este, con la cordillera de Domeyko por el oeste, por el sur con la Sierra de la Sal y la Sierra el Colorado. Tiene una extensión máxima de 85 km en sentido norte sur y 45 km en sentido este-oeste. (Proyecto Minero Volcán, Anexo 4-10: Estudio Hidrogeológico Salar de Maricunga 2012).

En el informe de Tierra del Sol Investigación y Desarrollo (2012), dividen la subsubcuenca del “Salar de Maricunga y cuencas del Norte y Este” (03041) definida por la DGA, en 4 nuevas subcuencas a partir de las estaciones de monitoreo fluviométrico que están instaladas en la región: Río Lamas en El Salto (código BNA 03041005-k), Río Valle Ancho en la Barrera (código BNA 03041004-1), Río Villalobos en Vertedero (código BNA 03041006-8) y Río Valle Ancho Antes Junta Barros Negros (03041003-3); además de la hoya definida aguas abajo del río Lamas en el Salto y aguas abajo del río Valle ancho en la barrera que denominan como “Llegadas al Salar de Maricunga” (Error! Reference source not found.). Dentro de esta última subcuenca se encuentran las quebradas de La Coipa, Pastillos, Ciénaga Redonda y Colorado, las que infiltran en el Llano de Ciénaga Redonda. El río Lamas, que fluye de oriente a poniente, nace en el Macizo de Tres Cruces y sus aguas se infiltran en el llano de Ciénaga Redonda antes de llegar al Salar de Maricunga. En la Estación DGA Lamas en el Salto se encontró que el caudal superficial era de 260 l/s y se estimó un flujo subterráneo de 10 l/s (Golder 2011, citado en GHD 2012).

Las lagunas que están dentro del salar de Maricunga suman una superficie de aproximadamente 6 km² (DGA, SDT N°225 2006). La laguna Santa Rosa está situada al Sur-Oeste de la cuenca del Salar de Maricunga. Tiene una superficie de aproximada de 200 ha que cubren 3 cuerpos de agua, el mayor de ellos es el ubicado más hacia el poniente. Es un área que tiene forma ovalada de 2 km de diámetro en la dirección Norte-Sur y 1 km en la dirección Este-Oeste. En su parte más profunda la laguna alcanza 1.2 m.



Los otros dos cuerpos de agua se encuentran ubicados hacia el este y tienen forma triangular. Estos cuerpos de agua descargan sus aguas de sur a norte a través de un canal, hacia otro espejo de agua de aproximadamente 110 ha de superficie ubicado en la zona central del Salar de Maricunga (ficha resumen Ramsar 1996⁴). El caudal que se desplaza por el canal que une ambas lagunas es aportado principalmente por vertientes difusas y vegas a lo largo de su curso (DGA S.D.T N°225, 2006), alcanzando en promedio los 163 l/s y fluye en forma permanente (DGA S.I.T N°51, 1999). Los afloramientos de agua que aparecen en el sector este de la cuenca fluyen por canales hacia el canal principal en forma permanente. Se tienen registros del congelamiento de la laguna en periodos de invierno (CONAF, Censo Invernal de Aves Agosto 2010)

El río Valle Ancho es un torrente discontinuo que fluye de sur a norte por una depresión ubicada entre la cordillera de Domeyko y la cordillera Prealtiplánica, que aflora formando vegas en ciertos tramos de su recorrido hacia la llanura donde está el salar, (Niemeyer y Cereceda, 1984). El sector final de este río es llamado en algunos estudios quebrada Ciénaga Redonda. También se le llama Ciénaga Redonda a todo el sector que recorre desde el límite de la cuenca del Negro Francisco hasta el llano de Ciénaga Redonda, y en algunos casos incluso se toma como una subcuenca de aproximadamente 857 km² (DGA S.D.T. N°225, 2006). En otros estudios se hace la distinción entre los sectores Quebrada de Ciénaga Redonda al norte de la Quebrada Villalobos que une el río Villalobos con el río Valle Ancho y el sector Pantanillo, ubicado en la zona más austral de esta garganta.

En la caracterización de caudales de la cuenca de Ciénaga Redonda se distinguen el río Barros Negros con un caudal de 74 l/s y el río Villalobos que aporta 42 l/s (DGA S.D.T. N°225, 2006). CPH realizó un modelo de simulación hidrológica para cuencas nivopluviales. Con ese modelo la escorrentía media anual estimada, tanto subterránea como superficial, a la salida de la quebrada de Ciénaga Redonda es de 614 l/s, considerando el bombeo de 95 l/s en el proyecto Refugio (CPH, 2012; citado en GHD 2012).

Laguna del Negro Francisco

En el Balance Hídrico de Chile de 1987 se define la subcuenca de la “Laguna del Negro Francisco” (Rol-BNA: 0305) y se la divide en las subsubcuencas de Río Astaburuaga (Rol-BNA: 03050) y de la Laguna del Negro Francisco y cuenca aportante (Rol-BNA: 03051). La caracterización hecha por el DICTUC mejora los límites de la cuenca de la *Laguna Negro Francisco* sin subdividirla.

La cuenca de la Laguna del Negro Francisco tiene una altura media de 4547 msnm y superficie de 905 km². La laguna está ubicada en la parte sur poniente del llano del Negro Francisco, nombre de la explanada sur que se forma al interior de las sierras de azufre, de la Sal y Colorada y del Cordón de Darwin que rodean la cuenca. La explanada norte se denomina Llano del Azufre y la explanada sur Llano del Negro Francisco. En el medio de la laguna del Negro Francisco se formó una depositación de material aluvial que divide la laguna en dos partes. El lado Sur tiene menor contenido de sales y sus aguas fluyen por un estrecho canal de la parte sur poniente hacia el sector norte que tiene mayor salinidad, con la formación de una costra en su superficie (DGA-parte I, 2008; CONAF 1997).

⁴ http://www.wetlands.org/RSIS/_COP9Directory/ES/Default.htm



La laguna del Negro Francisco recibe aportes directos del río Astaburuaga e infiltraciones del río La gallina. El río Astaburuaga viene desde el sureste hacia el noroeste y en su desembocadura las aguas se desvían hacia la laguna del Negro Francisco debido a una pared de material sedimentario que ha acumulado el propio río. Sin embargo, durante periodos de grandes crecidas el río se desborda y fluye hacia el norte en dirección de la Ciénaga Redonda (DGA-parte I, 2008). El área de la laguna tiene gran variabilidad, se ha estimado en 31,232 km² por Segerstrom (1968), 30 km² por Niemeyer (1968) y 17 km² por Behncke (1986) (CONAF, 1997).

Además, la hoya hidrográfica del río Astaburuaga aporta en forma subterránea a la cabecera de Ciénaga Redonda (DGA SDT N°225, 2006). “A partir del momento en que el río ingresa a los sedimentos de la cabecera de la cuenca de Ciénaga Redonda y se desvía hacia la Laguna del Negro Francisco, por cuanto comienza un proceso de infiltración hacia el acuífero, que por razones de continuidad litológica y cota, podrían constituir algún aporte subterráneo hacia Ciénaga Redonda.”

La batimetría realizada en la Laguna del Negro Francisco por GHD para la línea base del EIA del proyecto Minero Volcán, indica que el sector más profundo de la laguna es el extremo sur de la laguna salobre, que alcanza 1.1 m de profundidad.

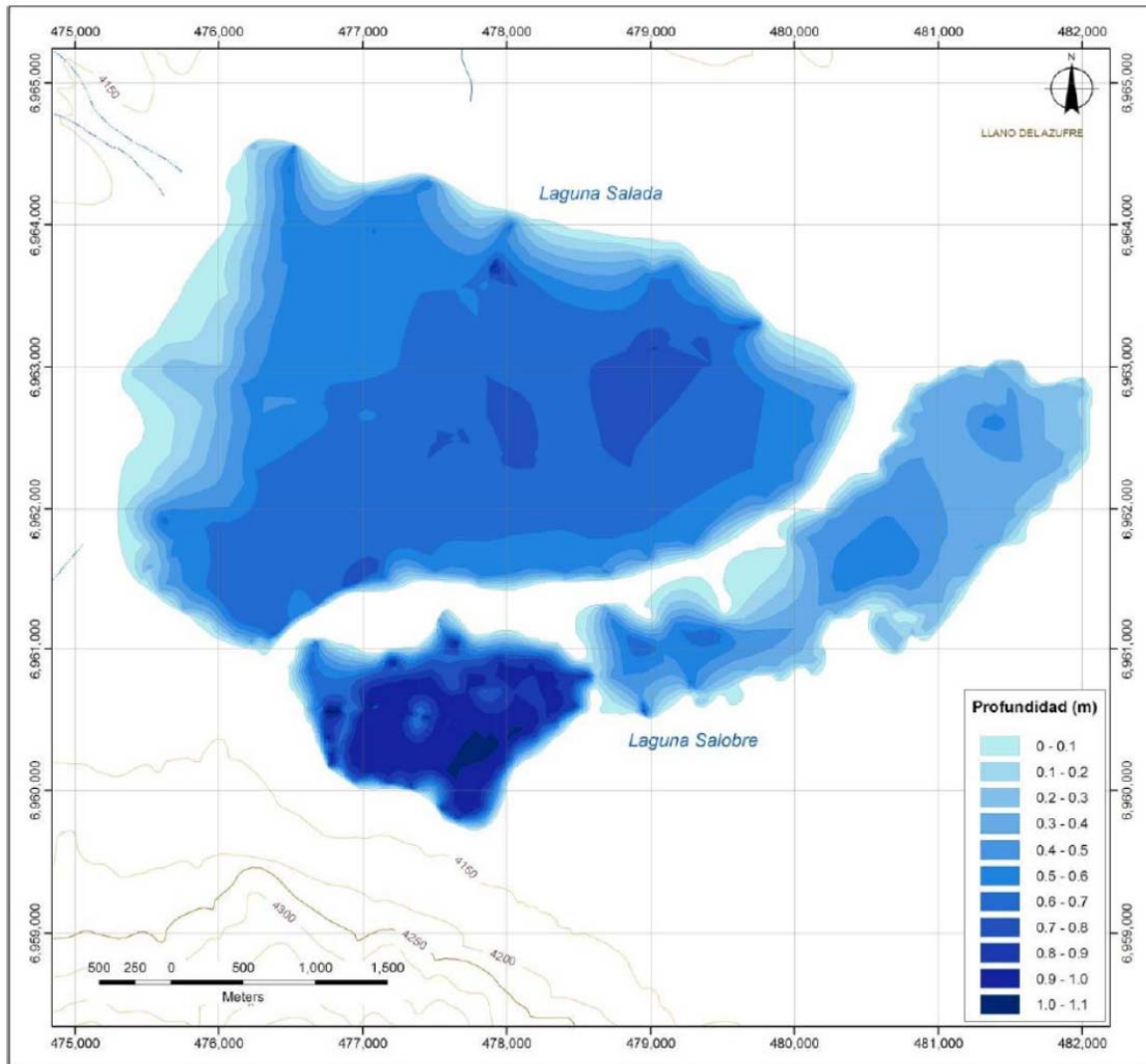


Figura 2.35. Batimetría 2011 de la Laguna del Negro Francisco en las lagunas salada y salobre. EIA Proyecto Minero Volcán. (Fuente: GHD, 2012).

2.2.4 Fluviometría

La información de las estaciones de medición de caudales que se encuentran en la zona de estudio y que pertenecen a la DGA, presenta gran cantidad de meses sin registros o con menos de 10 días de registros. Como primera aproximación se presenta la Figura 2.36 (Golder, 2011), en la cual se cuantificó la falta de información hasta el año 2009.

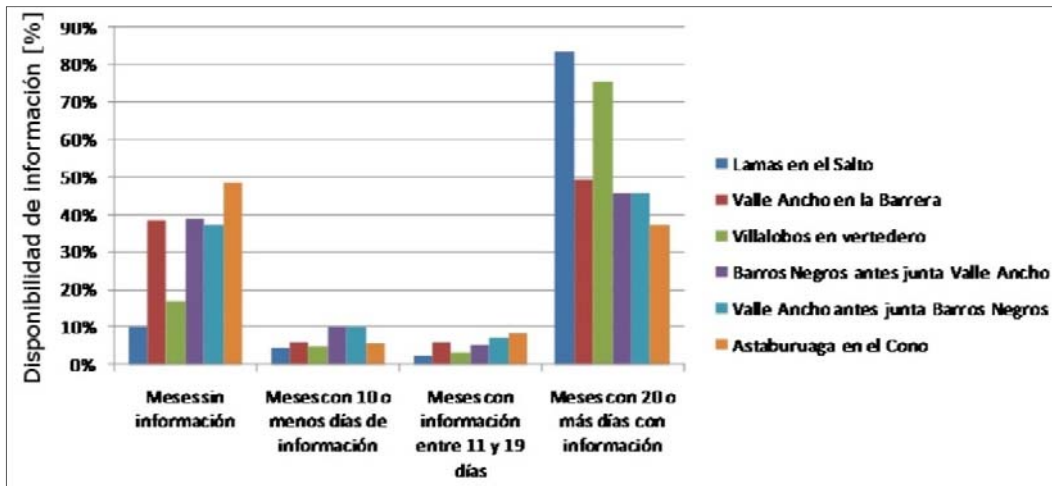


Figura 2.36: Cuantificación de información fluviométrica faltante en estaciones de la DGA (Fuente: Golder, 2011)

El estudio de Línea de Base Hidrogeológica hecho para el proyecto Lobo Marte (Golder, 2011) relleno la información faltante. Para ello se utilizó la siguiente metodología:

- De la tabla de correlaciones mensuales se elige aquella estación fluviométrica que mejor correlacione para ese mes y se modela el caudal faltante en base a esa estación.
- Se grafica el caudal medio mensual en el tiempo y en base a la tendencia que muestra la información fluviométrica a lo largo del año, se estima el valor del caudal medio mensual que debería tener para
- continuar con la tendencia.
- Se comparan ambos resultados gráficamente y se elige aquel que satisfaga de mejor manera las condiciones fluviométricas locales en base a criterios de deshielo, crecida, área de cuenca, rendimiento, etc.

En la Figura 2.37 se presentan los caudales rellenos por Golder (2011), donde puede verse que los meses con mayores caudales corresponden al periodo de primavera. Las estaciones Valle Ancho en la Barrera,

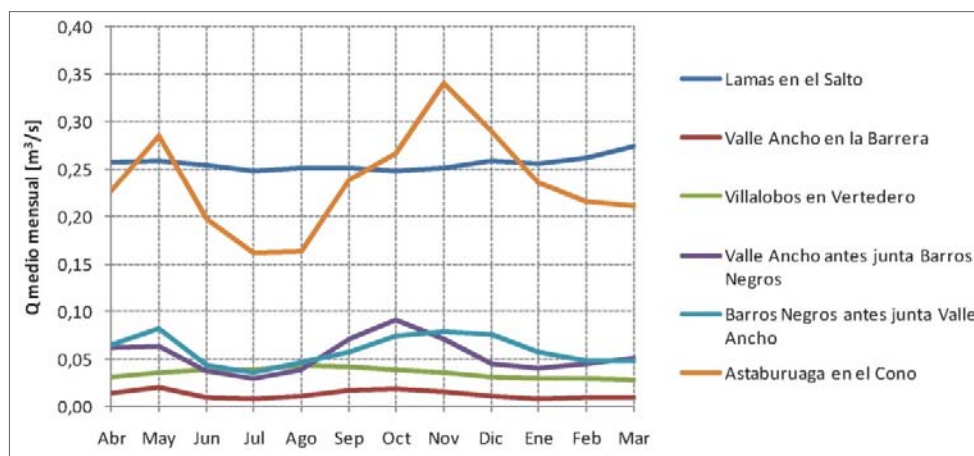


Figura 2.37: Caudal medio mensual estaciones fluviométricas locales - Información rellena (Fuente: Golder, 2011)

El río Astaburuaga que es tributario de la laguna del Negro Francisco es la que registra mayor caudal medio mensual alcanzando 340 l/s en el mes de noviembre. Según los datos rellenos por Golder (2011), el río Astaburuaga tiene dos pick de caudal al año, el menor en mayo y el mayor en noviembre. Por otro lado, el río Lamas que entrega su caudal a la cuenca aportante al salar de Maricunga de forma subterránea, tiene un régimen muy regular sin grandes variaciones entre los distintos meses del año. El caudal promedio de este río está entre 260 l/s y 280 l/s.

Como se ve en la Figura 2.2, el orden de las estaciones fluviométricas que se encuentran en el corredor biológico es desde aguas arriba hacia aguas abajo:

- a) Valle Ancho antes junta Barros Negros (VABN)
- b) Barros Negros antes junta Valle Ancho (BNVA)
- c) Villalobos en Vertedero (VV)
- d) Valle Ancho en la Barrera (VAB)

Los mayores caudales medios son de las estaciones VABN y BNVA, disminuyendo en las estaciones que están aguas abajo en la cuenca VV y VAB. VABN tiene su máximo en el mes de octubre con caudal de 90 l/s y BNVA en el mes de noviembre con valores cercanos a 80 l/s. Ambas estaciones siguen una tendencia similar al río Astaburuaga y a la estación VAB que tienen un alza de caudal en mayo, esto se debe probablemente a la correlación que se hizo para rellenas los datos de estas estaciones. La estación VV tiene caudal máximo de 40 l/s en agosto y la estación VAB casi 30 l/s en octubre.

En el estudio realizado por Golder⁵ (2011) para el proyecto Lobo-Marte se midió el nivel de aguas superficiales en 13 puntos repartidos dentro de las cuencas del salar de Maricunga, la laguna del Negro Francisco y el sector Ciénaga Redonda, que midieron

⁵ GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011. Proyecto Reinicio Y Expansión Del Proyecto Lobo Marte. Línea Base Hidrogeológica e Hidrológica Lobo Marte y Modelo Hidrogeológico Ciénaga Redonda. Elaborado para KINROSS GOLD CORPORATION.

entre diciembre 2009 octubre 2010 (Tabla 6.20 y Tabla 6.21 en Anexo); 6 de estos puntos corresponden a estaciones de la DGA.

Todas las estaciones de flujo superficial se encontraron congeladas en los meses de junio a agosto, a excepción de la ubicada en la estación DGA del río Villalobos en Vertedero. En la estación que midió el caudal que fluye entre los 2 cuerpos de agua que constituyen la laguna del Negro Francisco alcanzó un caudal inferior al límite de detección (1 l/s) en los meses de enero, febrero y mayo 2010; para el mes de marzo sólo alcanzó 5 l/s y estuvo congelado en julio y agosto. El mes de mayo se midió 284 l/s, en el mes de septiembre se alcanzaron los 482 l/s y en el mes de octubre 157 l/s.

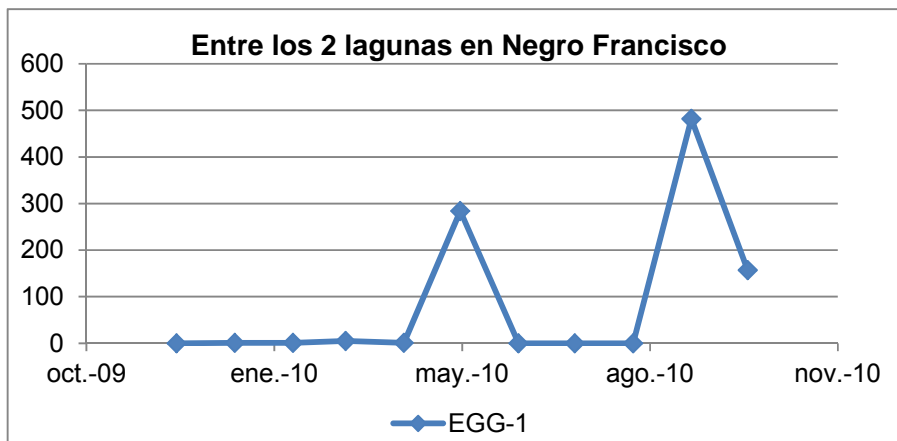
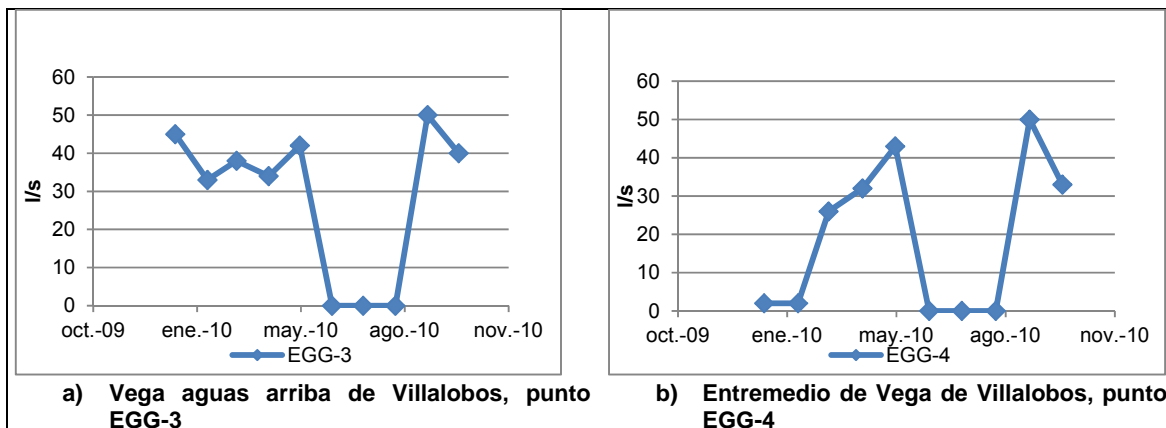


Figura 2.38 Flujo medido entre los cuerpos de agua de la Laguna del Negro Francisco (Fuente: Elaboración propia según datos de Golder, 2011).

Los puntos medidos en las vegas que se encuentran en el sector del corredor biológico, muestran que los caudales máximos alcanzan los 50 l/s aguas arriba del río Villalobos y 55 l/s aguas abajo (EFG-6). Los meses de junio, julio y agosto de 2010 los cauces se encontraban congelados y en el caso del punto EFG-6 también el mes de septiembre. En el sector de la vega Pantanillo, que está aguas arriba de la junta con el río Villalobos los caudales fueron medidos entre diciembre de 2009 a abril de 2010, registrándose un caudal máximo de 4 l/s, mientras que en los meses entre mayo y septiembre de 2010 se encontraba congelado. Con las mediciones de Golder (2011) se confeccionaron los gráficos de la Figura 2.39.



2.2.1 Geología

A partir del mapa realizado por SERNAGEOMIN (2003), escala 1:1.000.000, en la Tabla 6.4 (Anexo 6.3) se describen las unidades geológicas ubicadas en la cuenca del Salar de Maricunga y la cuenca del Negro Francisco, señalando la ubicación aproximada de la unidad. En las zonas donde se ubica el Salar de Maricunga, la laguna del Negro Francisco y los lechos de los ríos que atraviesan el corredor de Pantanillo y Ciénaga Redonda, las formaciones geológicas corresponden a depósitos aluviales del Pleistoceno a Holoceno. Las zonas de la cordillera de Domeyko cercanas al Salar de Maricunga están formadas por rocas volcánicas del Oligoceno y Mioceno Inferior. En las zonas cordilleranas al norte del río Lamas la formación corresponde a rocas del basamento del paleozoico y triásico. En las altas cumbres de la Cordillera de los Andes al este de la Depresión de Andina se encuentran rocas volcánicas del Plioceno. Mayor detalle de las formaciones geológicas se presenta en anexo 6.3.

2.2.2 Hidrogeología

La información existente sobre la hidrogeología de la zona de estudio se encuentra principalmente en los mapas geológicos e hidrogeológicos elaborados por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y en los estudios desarrollados por los proyectos que se presentan a calificación ambiental por el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). En estos últimos estudios es posible encontrar estratigrafías de algunos pozos de monitoreo hechos en la zona y resultados de pruebas hidrogeológicas como pruebas de bombeo. En la Tabla 2.25 se resumen los principales datos hidrogeológicos encontrados en estudios aparte de los mapas del SERNAGEOMIN. Posteriormente se describe la información hidrogeológica de los mapas del SERNAGEOMIN en la zona de estudio.

Tabla 2.25: Resumen de parámetros hidrogeológicos encontrados.

Sector	Parámetros Hidrogeológicos	Fuente:
Aguas abajo de la estación fluviométrica del Río Astaburuaga en Cono	Gradiente Hidráulico $i = 0.0027$, obtenido a partir de la cota piezométrica de los pozos (ND-0302-265; ND-0302-249; ND-0302-262). · Transmisividad $T = 3245 \text{ m}^2/\text{día}$, promedio estimado según pruebas de bombeo · Ancho del Valle $L = 800 \text{ m}$, obtenido de la cartografía disponible. El flujo subterráneo pasante de 80 l/s .	DGA S.D.T. N°225, 2006
Ciénaga Redonda Norte	Transmisividad variable entre 8.000 y $14.000 \text{ m}^2/\text{día}$ Coeficiente de almacenamiento $4 \cdot 10^{-2}$. Unidad de gravas de 80 m de espesor	GHD 2012. Proyecto volcán (Anexo 4-10 EIA)

2.2.2.1 Mapas Hidrogeológicos de SERNAGEOMIN

2.2.2.1.1 1998. Hidrogeología de la cuenca Laguna del Negro Francisco, Escala 1:100000.

La cuenca de la Laguna del Negro Francisco es una depresión volcano-tectónica, delineada por la Falla Sierra el Colorado, con la depresión del río Astaburuaga entre la Sierra El Colorado y el Limite internacional con Argentina al este, la Falla Laguna del



Negro Francisco y la Sierra Monardes, al oeste, el volcán Azufre al norte y el volcán Jotabeche al sur.

En la cuenca existen tres áreas de interés hidrogeológico: El acuífero intergranular de río Astaburuaga, los acuíferos ubicados bajo los volcanes La Laguna y Azufre, y los acuíferos sedimentarios de la depresión.

En el acuífero intergranular del río Astaburuaga, en el sector de Pampa Pantanillo que es donde el río cambia de dirección dirigiéndose hacia el este, se registran 76m/día de conductividad hidráulica.

Bajo el volcán La Laguna y volcán Azufre (Figura 2.41) existen 2 unidades identificadas geoeléctricamente, una unidad de sedimentos secos y saturados de agua relativamente dulce, y otra unidad que está por debajo de la anterior y que se encuentra saturado con agua salada. Se presume que la profundidad del basamento es de 500 m y más.

Los acuíferos sedimentarios del Llano de la Sal, Llano del Azufre y Llano del Negro Francisco, son los de mayor potencial hidrogeológico. Estos acuíferos son recargados por las precipitaciones en forma de nieve que cubren el sector en los meses invernales, la nieve caída corresponde a 200 mm/año de agua, pero de ese total la mayor parte se sublima debido a las altas radiaciones de la zona. Sólo aproximadamente 66 mm/año de agua proveniente de la nieve sirve para recargar los acuíferos a través de los ríos o infiltrándose. El acuífero del Llano de la Sal es un acuífero de tipo libre que recibe aportes del río Astaburuaga y el río de la Sal. Al acercarse hacia la laguna, este acuífero se intercepta con depósitos lacustres formando acuíferos confinados a semiconfinados. El acuífero del Llano del Negro Francisco recibe agua desde el río Astaburuaga y desde las quebradas de la zona sur de la cuenca. Los acuíferos del Llano del Negro Francisco son libres, de multicapas, cambiando a confinados y semiconfinados cerca de la laguna. Se presume que existirían rocas volcánicas basálticas jurásicas y triásicas bajo el llano del Negro Francisco, las que constituirían acuíferos fracturados capaces de drenar parte del flujo profundo. Otros acuíferos de menor importancia dentro de la depresión, son los acuíferos fluvio-aluviales de las desembocaduras de las quebradas Desagüe, Azufre y del río La Gallina. Estos últimos son acuíferos libres con extensiones menores a 3 km², que al igual que los anteriores se vuelven semiconfinados en las cercanías de la laguna.

Podrían existir otros acuíferos fracturados en las cercanías del volcán azufre (TMmsi), nacientes del río Astaburuaga (TMOv)) y Cerro la Gallina (TMssv) (Figura 2.41).

En la Figura 2.42 se presenta el perfil hidrogeológico de la cuenca de la Laguna del Negro Francisco (SERNAGEOMIN, 1998).

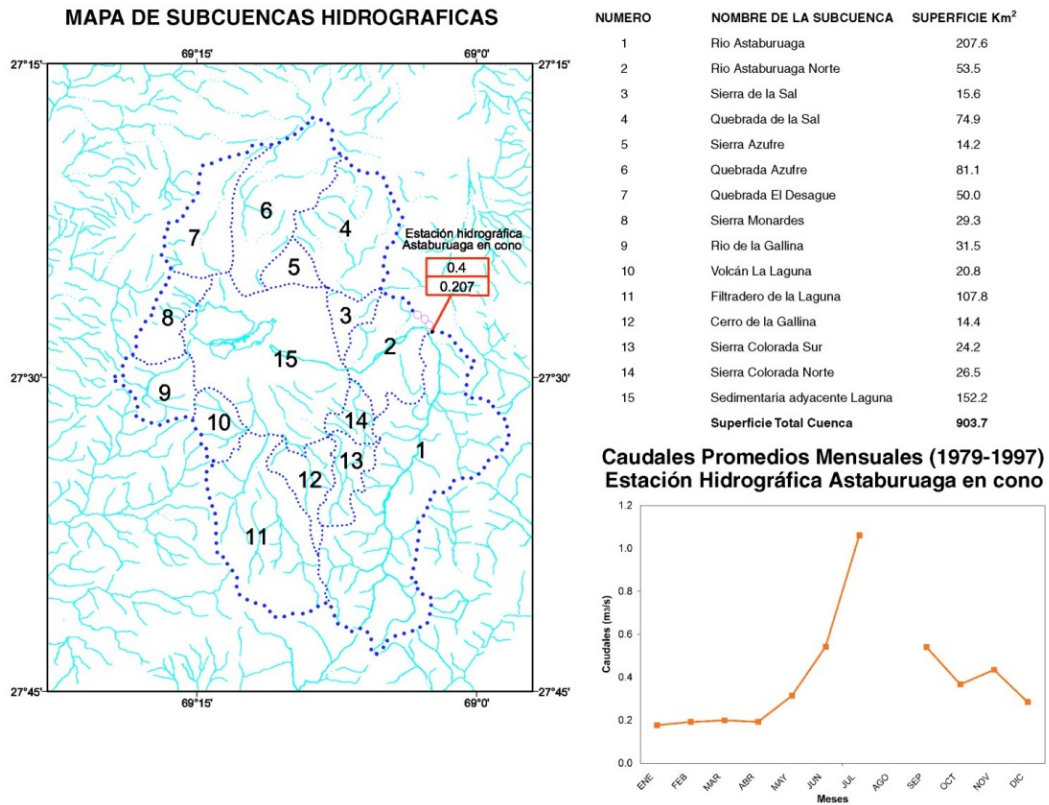


Figura 2.41: Mapa de cuencas hidrográficas (SERNAGEOMIN, 1998)

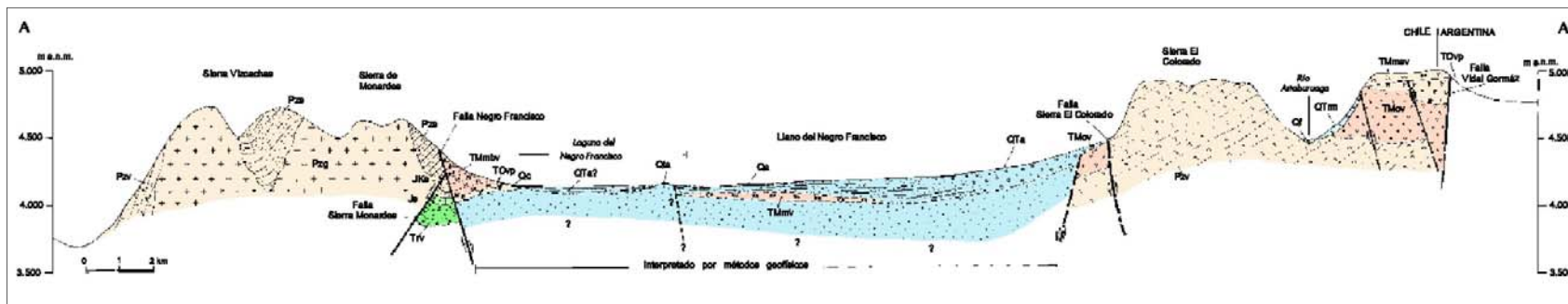


Figura 2.42: Perfil hidrogeológico de la cuenca de la Laguna del Negro Francisco (SERNAGEOMIN, 1998)

Tabla 2.26: Resumen de principales depósitos hidrogeológicos en la cuenca de la Laguna del Negro Francisco, (SERNAGEOMIN, 1998).

DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS O SEDIMENTOS		DEPOSITOS CONSOLIDADOS O ROCAS	
Potencial hidrogeológico alto a bajo, permeables a semipermeables y con porosidad intergranular. En ellos se encuentran acuíferos libres a semiconfinados.		Potencial hidrogeológico moderado a nulo. Materiales prácticamente impermeables; escasa permeabilidad ligada a fracturamiento primario y/o secundario.	
Acuíferos intergranulares extensos y/o altamente productivos. Alta capacidad para almacenar y transmitir agua.		Acuíferos fisurados extensos y altamente productivos.	
Acuíferos intergranulares locales y/o de producción discontinua. Potencial hidrogeológico moderado a bajo.		Acuíferos fisurados locales o de producción discontinua.	
		Acuíferos menores en roca (granular o fisurada), locales y con limitados recursos de agua.	
		Acuícludos, rocas con recursos muy limitados o nulos.	
Qa	Depósitos aluviales	Js	Calizas (Jurásico)
Qf	Depósitos fluviales	JKs	Areniscas rojas (Jurásico Superior-Cretácico Inferior)
QTa	Depósitos aluviales antiguos (Mioceno-Plioceno)	Trv	Lavas basálticas (Triásico)
QTf	Depósitos fluviales antiguos	TMssv	Lavas andesíticas y andesítica-basálticas (Mioceno Superior alto, 5-7 Ma)
Qc	Depósitos coluviales	TMmsi	Ignimbritas (Mioceno medio a superior, 7-15 Ma)
QTrm	Depósitos de remoción en masa	TMmbv	Depósitos volcanoclásticos (Mioceno medio, 11-15 Ma)
Ql	Depósitos lacustres	TMmv	Lavas andesíticas (Mioceno medio, 12-15 Ma)
TMssbv	Depósitos de talud y flanco del volcán Dos Hermanas	TMov	Lavas andesíticas fracturadas (Oligoceno-Mioceno Inferior)
		TOvp	Depósitos piroclásticos (Oligoceno)
		Pzv	Lavas, tobas y brechas riolíticas (Paleozoico)
		Pzg	Granitoides paleozoicos (Carbonífero-Pérmico)
		Pzs	Rocas sedimentarias paleozoicas (Devónico-Carbonífero)

2.2.2.1.2 2000. Mapa hidrogeológico de la Cuenca Salar de Maricunga: sector Ciénaga Redonda, Escala 1:100000.

Esta subcuenca corresponde a una depresión elongada en dirección norte-sur de rocas volcánicas del Paleozoico superior con cordones de rocas volcánicas del Oligoceno y Mioceno al este y oeste, y que está rellena con sedimentos no consolidados.

Existen acuíferos libres y semiconfinados de alto potencial hidrogeológico que están formados por depósitos fluviales del cuaternario (Qf) que descansan sobre depósitos aluviales del Mioceno Superior y Plioceno (MsPlia), distribuyéndose en los valles del río Astaburuaga, quebrada Ciénaga Redonda y vega Barros Negros. Los valores de transmisividad varían entre 10 y 10^4 m²/día, con coeficiente de almacenamiento entre 5 y 15%, su espesor registrado por medios geoelectrónicos es de hasta 110 m.

Depósitos aluviales del Plioceno y Cuaternario (PliQa) forman acuíferos libres con alto a moderado potencial hidrogeológico, de menos de 30 metros de espesor y área menor a 2 km². Estos se ubican en las cabeceras y desembocaduras de las quebradas Astaburaga, Valle Ancho y Los Patos. Los depósitos aluviales se interdigitan con los depósitos fluviales de la quebrada de Ciénaga Redonda quedando conectados hidráulicamente. La permeabilidad es de entre 1300 y 4400 m/día con coeficiente de almacenamiento de 15%.

Los depósitos aluviales del Mioceno Superior y Plioceno (MsPlia) están formados por gravas y arenas medianamente consolidadas, se ubican sobre rocas impermeables y sedimentos fluviales antiguos, formando acuíferos de alto a moderado potencial hidrogeológico. En algunos lugares están cubiertos por lavas del Mioceno Superior (Msv) que se comportan como acuíferos fisurados. Forman acuíferos libres hidráulicamente continuos de espesores de hasta 150 m frente a la quebrada Villalobos, aflorando en las desembocaduras de las quebradas Valle Ancho, Los Patos, Barros Negros y río Lajitas.

Otros acuíferos de moderado potencial hidrogeológico se forman por rocas sedimentarias (OMs) que afloran en el extremo oriental de la cuenca formando acuíferos libres y confinados intergranulares (quebrada de los Patos) con espesores de hasta 200 m y permeabilidades varían entre 10⁻⁴ y 10⁻² m/día. Por otro lado lavas del Mioceno Superior (Msv) con fracturas multidireccionales (4 a 6 fracturas/m) forman acuíferos fisurados con espesor de 5 a 50 m y permeabilidad de 10⁻⁵ a 10⁻³ m/día, recargados por el río Lajitas.

En la quebrada del río Villalobos, frente al Cerro Pastillos existen depósitos de Ignimbritas del Oligoceno y Mioceno (OMi) y Lavas andesíticas del Oligoceno y Mioceno Medio (OMmv) estos pueden formar acuíferos menores con recursos de agua subterránea limitados y baja importancia hidrogeológica.

En el extremo sur del sector Ciénaga Redonda el basamento presenta profundidades de entre 60 hasta 160 m de profundidad, mientras que en el extremo norte su profundidad alcanza los 160 m (Figura 2.44).

La recarga de los acuíferos se produce por el aporte de los ríos Villalobos, Los Patos, Lajitas o Barros Negros y Estero Valle Ancho. También por el aporte subterráneo desde el río Astaburuaga, precipitaciones pluviales (200 mm/año, DGA, 1987) y nivales. El agua fluye superficial y subterráneamente hacia el norte a la subcuenca Salar de Maricunga evaporando en las vegas de la quebrada de Ciénaga Redonda.



En las estratigrafías de pozos del sector se encontró que los sedimentos están conformados por gravas y arenas, encontrando finas capas intercaladas de arenas finas y limos. Los finos abundan por sobre los 70 m de profundidad.

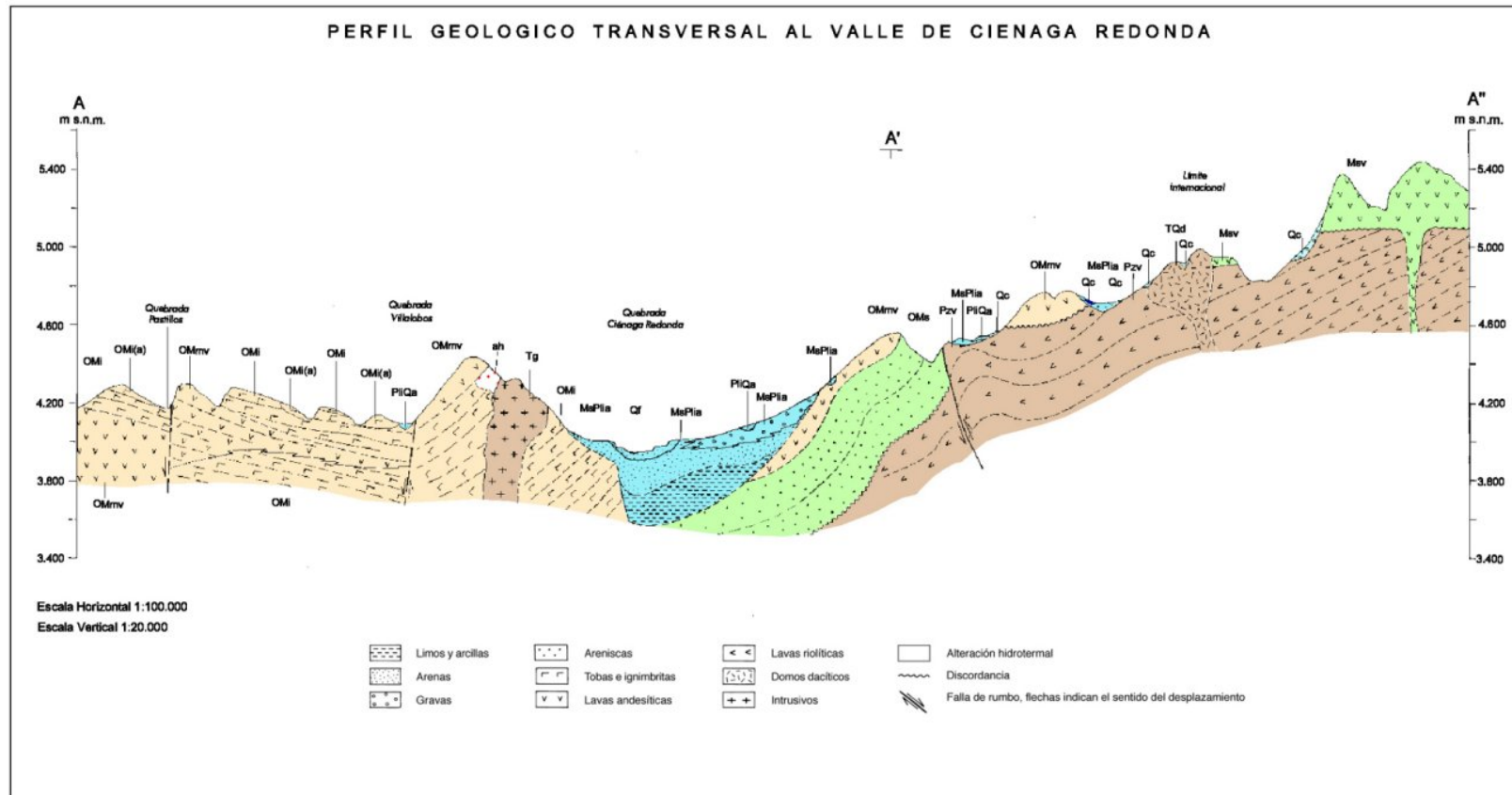


Figura 2.43: Perfil geológico transversal al valle de Ciénaga Redonda (SERNAGEOMIN, 2000).

Tabla 2.27: Depósitos hidrogeológicos en la cuenca Salar de Maricunga sector Ciénaga Redonda, (SERNAGEOMIN, 2000).

ACUÍFEROS DE ALTA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA EN DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS		ACUÍFEROS DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA EN DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS		ACUÍFEROS DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA EN ROCAS FISURADAS		ACUÍFEROS O ACLUICLUDOS DE BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA		ACUICLUDOS O ACUIFUGOS DE NULA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA	
Acuíferos intergranulares, extensos y altamente productivos		Acuíferos intergranulares, locales y con productividad irregular o extensos pero sólo moderadamente productivos.		Acuíferos fisurados, locales y con productividad irregular o extensos pero sólo moderadamente productivos.		Rocas o Depósitos no consolidados que forman acuíferos menores con recursos de agua subterránea locales o limitados.		Rocas o depósitos no consolidados esencialmente sin recursos de agua subterránea.	
Qf	Depósitos fluviales del Cuaternario	Qp	Depósitos piroclásticos del Cuaternario	OMs	Rocas sedimentarias del Oligoceno y Mioceno	PliQv (a)	Lavas andesíticas y dacíticas del Plioceno y Cuaternario	TQd	
PliQa	Depósitos aluviales del Plioceno y Cuaternario	Qc	Depósitos coluviales del Cuaternario	Msv	Lavas del Mioceno Superior (5-7 Ma)	OMi (a)	Ignimbritas del Oligoceno y Mioceno	Mmsv	
MsPli	Depósitos aluviales del Mioceno Superior y Plioceno	Qrm	Depósitos de remoción en masa del Cuaternario			OMmv (a)	Lavas andesíticas del Oligoceno y Mioceno Medio	Tg	
						Pzv			
						Msv1			
PliQv1									

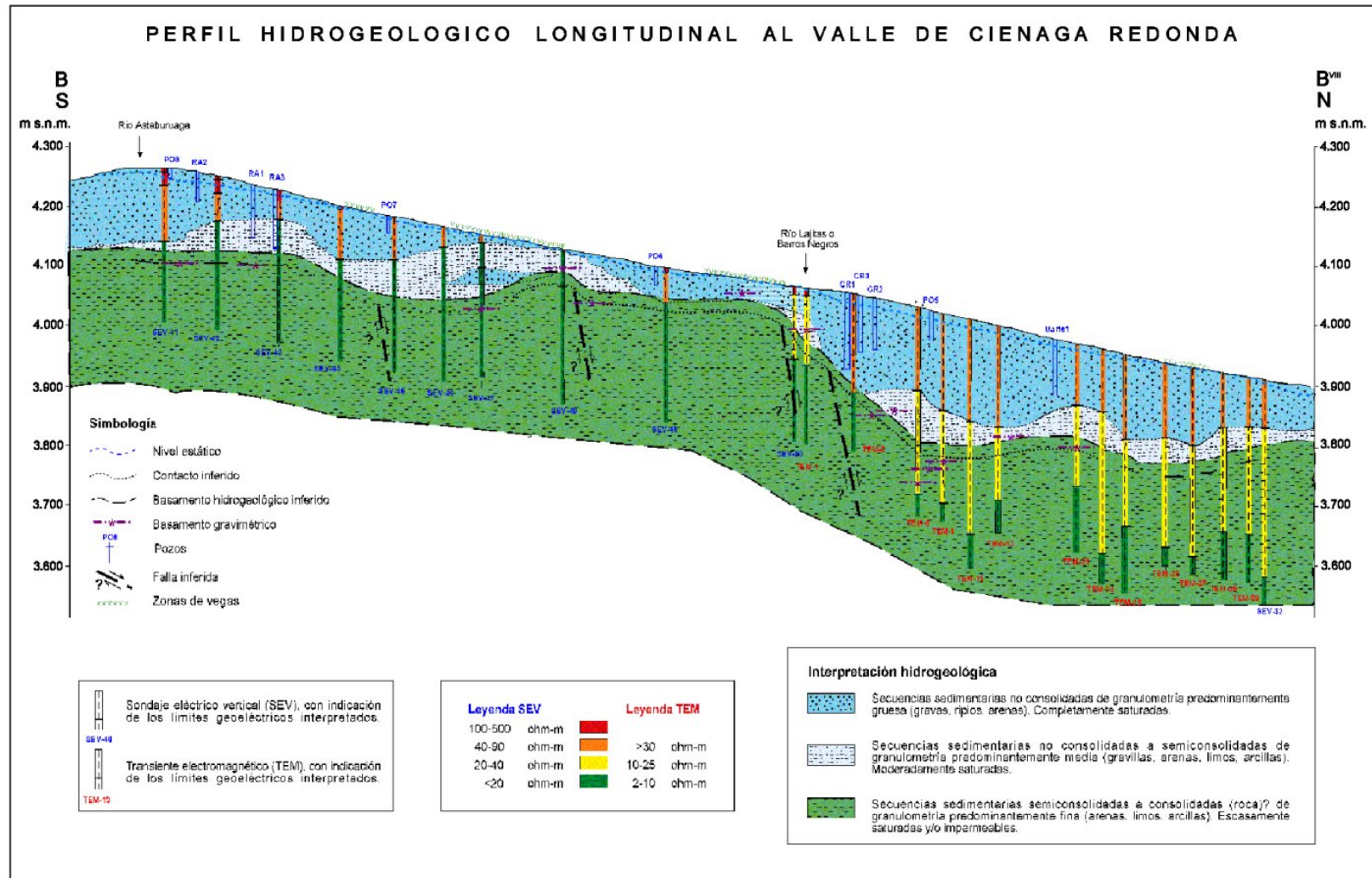


Figura 2.44: Perfil hidrogeológico longitudinal al valle de Ciénaga Redonda (SERNAGEOMIN, 2000).

2.2.2.1.3 1999. Mapa hidrogeológico de la Cuenca Salar de Maricunga: sector Salar de Maricunga, Escala 1:100000.

Esta subcuenca es una depresión volcano-tectónica con relleno sedimentario la cual tiene en sus límites a la cordillera de Claudio Gay, que por el este la separa de la cuenca de Piedra Pómez, el cerro de la Sal formado por rocas volcánicas oligocenas la separa de la cuenca del río La Ola por el norte, una formación de rocas del Mesozoico y Paleozoico la delimita en el nor-oeste, el volcán Santa rosa y volcán Maricunga se encuentran al sur-oeste y mientras que los volcanes Copiapó y Pastillos se encuentran en su extremo sur, todos estos volcanes pertenecen al Mioceno.

En el sector sur de la cuenca se encuentra una de las dos áreas de importancia hidrogeológica, el acuífero intergranular del Llano de Ciénaga Redonda. Este acuífero se forma por depósitos aluviales y fluviales (PliQa, MsPliA, Qf y Qfa). Los pozos perforados en este acuífero indican que las transmisividades son de 4000 a 27000 m²/día y 15000 a 43000 m²/día en los sectores norte (MDO-8 y MDO-10) y sur (MDO-9, MDO-23 y MDO-24), respectivamente. Los pozos del sector sur alcanzaron caudales específicos de 55 a 68 l/s/m. La estratigrafía de estos pozos muestra que hasta profundidades de 105 y 150 m los sedimentos son principalmente arenas y gravas con capas delgadas de finos (arenas finas y limos), bajo los sedimentos se encontraron arcillas y arcillas carbonosas (MDO-10) que forman una capa impermeable, bajo la cual habría otro acuífero intergranular de 800 m de espesor. El nivel estático oscila entre 7,5 y 47 m, de modo que el espesor del acuífero se infiere entre 95 y 110 m.

En el extremo noroeste del Salar se encuentra otra área con potencial hidrogeológico alto. Este acuífero se forma de sedimentos aluviales (PliQa y MsPliA). Los pozos perforados en este acuífero (MDO-15, MDO-12, MDO-13, SR-5, CM-1 y MDO-14) registran transmisividades entre 150 y 3.000 m²/día y caudales específicos de 0,13 a 5,9 l/s/m, en pozos de 70 a 150 m de profundidad. La estratigrafía muestra que los sedimentos están formados principalmente por arenas y gravas, y también tienen contenidos de limos, cenizas y rocas volcánicas. En la estratigrafía del pozo MDO-12 se ve además roca fracturada en profundidades de 47 y 55 m, el pozo MDO-14 tiene la misma condición pero en su caso llega al basamento rocoso.

En el extremo noroeste de la cuenca en la pampa Salar de Maricunga, existe un área de potencial hidrogeológico desconocido. Este acuífero intergranular es recargado por la quebrada Manantiales. Existe un pozo en este acuífero (CAN-6) que presenta transmisividad de 600 m²/día, caudal específico de 1,24 l/s/m y estratigrafía con arenas, gravas y arcillas que predominan en el fondo a los 110m de profundidad y forman una capa impermeable que funciona como una desconexión hidráulica de los depósitos que están por debajo.

Un acuífero de media a baja importancia hidrogeológica es el de rocas sedimentarias del Oligoceno y Mioceno (OMs) que se comporta como acuífero fisurado y/o intergranular y que es recargado por el río Lamas.

El área del extremo noroeste en la quebrada Caballo Muerto, formada por rocas volcánicas (JKv) y sedimentarias jurásica-cretácicas (JKsm) correspondería a acuíferos fisurados, configurando un acuífero con potencial hidrogeológico medio a bajo.

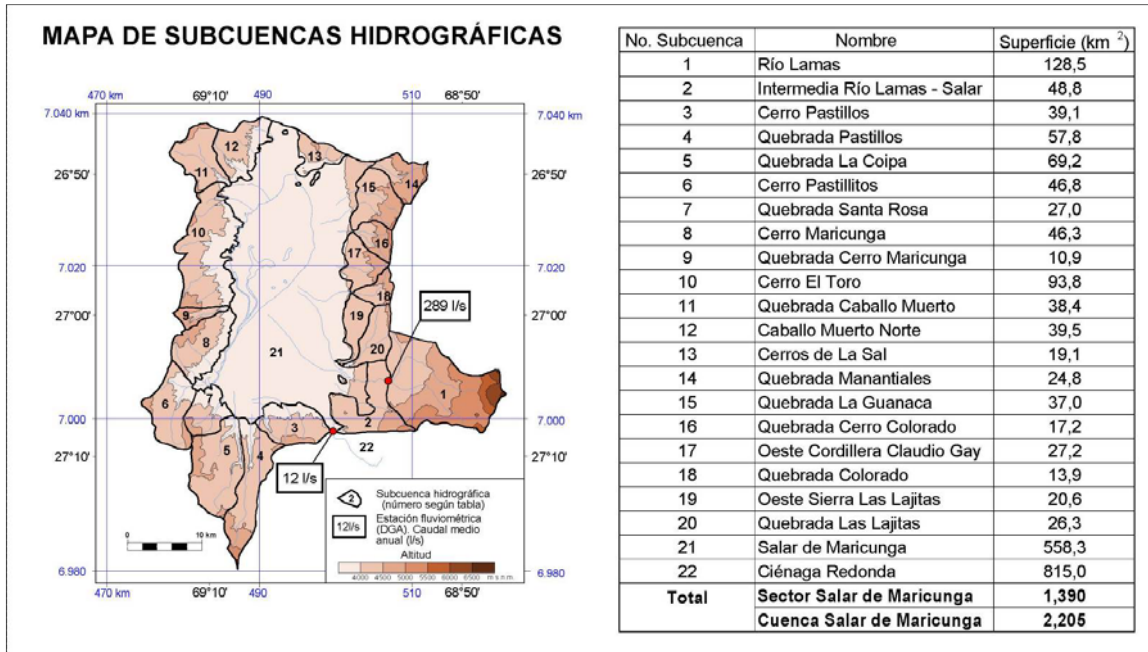


Figura 2.45: Mapa de subcuencas hidrográficas de la cuenca del Salar de Maricunga (SERNAGEOMIN, 1999).

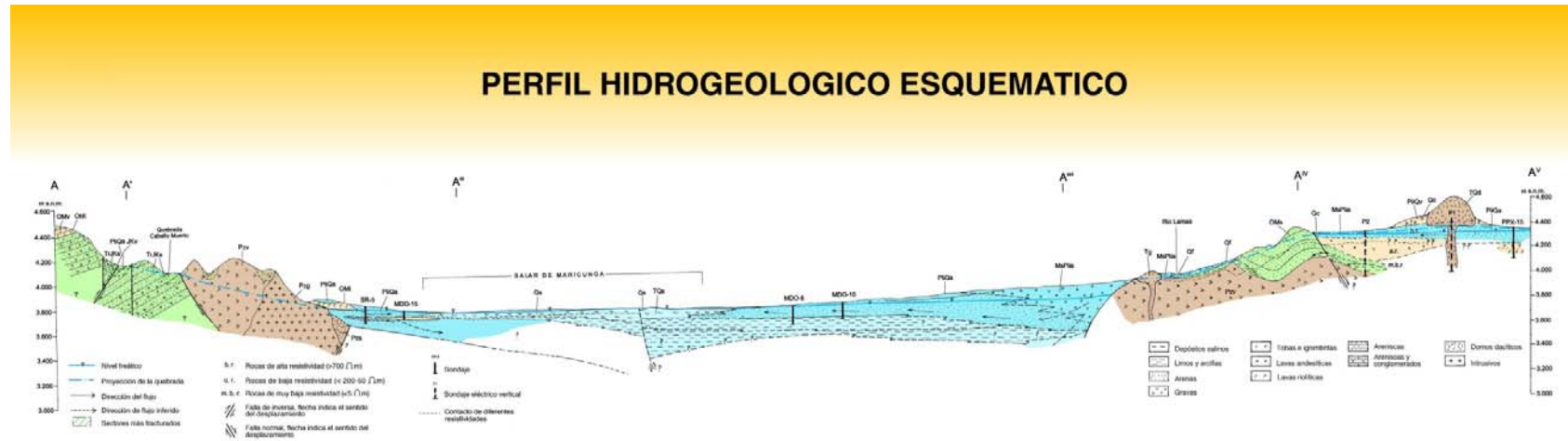


Figura 2.46: Perfil hidrogeológico esquemático de la cuenca Salar de Maricunga, sector Salar de Maricunga (SERNAGEOMIN, 1999).

Tabla 2.28: Unidades geológicas en la cuenca Salar de Maricunga sector Salar de Maricunga, (SERNAGEOMIN, 1999).

ACUIFEROS DE ALTA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS		ACUIFEROS DE MEDIA Y BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN DEPOSITOS NO CONSOLIDOS		ACUIFEROS DE MEDIA Y BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN ROCAS FISURADAS		ACUIFEROS O ACUICLUIDOS DE BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA		ACUICLUIDOS O ACUIFUGOS DE NULA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA	
Acuíferos intergranulares, extensos y altamente productivos		Acuíferos intergranulares, locales y con productividad irregular y extensos pero solo medianamente productivos		Acuíferos fisurados, locales y con productividad irregular o extensos pero solo moderadamente productivos		Rocas o depósitos no consolidados que forman acuíferos menores con recursos de agua subterránea locales o limitados		Rocas o depósitos no consolidados esencialmente sin recursos de agua subterránea	
Qf	Depósitos fluviales del Cuaternario	Qs	Depósitos salinos	Qfa	Depósitos fluviales antiguos	Mmbc	Depósitos de bloques y cenizas del Mioceno medio	TQd	Damos dacíticos del Plioceno y Pleistoceno
		TQs	Depósitos salinos antiguos	OMS	Rocas sedimentarias del Oligoceno y Mioceno	Ql	Depósitos lacustres actuales	Mmsv	Lavas dacíticas del Mioceno Medio a Superior
								Tg	Intrusivos dacíticos del Terciario
PliQa	Depósitos aluviales del Plioceno y Cuaternario	Qp	Depósitos piroclásticos del Cuaternario	JKv	Lavas andesítico-basálticas del Jurásico y Cretácico Inferior	PliQv	Lavas andesíticas y dacíticas del Plioceno y Cuaternario	Kg	Intrusivos dioríticos del Cretácico



ACUIFEROS DE ALTA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS		ACUIFEROS DE MEDIA Y BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN DEPOSITOS NO CONSOLIDOS		ACUIFEROS DE MEDIA Y BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN ROCAS FISURADAS		ACUIFEROS O ACUICLUIDOS DE BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA		ACUICLUIDOS O ACUIFUGOS DE NULA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA	
Acuíferos intergranulares , extensos y altamente productivos		Acuíferos intergranulares, locales y con productividad irregular y extensos pero solo medianamente productivos		Acuíferos fisurados, locales y con productividad irregular o extensos pero solo moderadamente productivos		Rocas o depósitos no consolidados que forman acuíferos menores con recursos de agua subterránea locales o limitados		Rocas o depósitos no consolidados esencialmente sin recursos de agua subterránea	
		Qc	Depósitos coluviales del Cuaternario	TrJKs	Areniscas y conglomerados del Triásico Superior y Jurásico Superior-Cretácico Inferior	OMi	Ignimbritas del Oligoceno y Mioceno	Kv	Lavas andesíticas del Cretácico Superior
								Trsf	Lutitas y areniscas finas del Triásico
MsPlia	Depósitos aluviales del Mioceno Superior y Plioceno	Qrm	Depósitos de remoción en masa del Cuaternario	JKsm	Calizas del Jurásico y Cretácico Inferior	OMv	Lavas andesíticas del Oligoceno y Mioceno medio.	Pzg	Intrusivos Graníticos del Paleozoico
								Pzs	Metareniscas y conglomerados del Paleozoico
								Pzv	Lavas y brechas riolíticas del Paleozoico



2.2.2.1.4 2005. Mapa hidrogeológico de la Cuenca Campo de Piedra Pómez-Laguna Verde, Escala 1:100000.

Esta cuenca está formada principalmente por material volcánico, su relleno es de rocas piroplásticas y lavas andesíticas y dacíticas, con poco material sedimentario el cual es de poco transporte, gravas y arenas gruesas.

Existe poca información sobre geología de subsuperficie de modo que la delimitación hidrogeológica de la cuenca es difícil. Sin embargo, la cuenca se puede subdividir en 2 áreas subcuenca Campo de Piedra Pómez, al oeste, y subcuenca Laguna Verde, al este.

Al oeste se encuentra un afloramiento de rocas paleozoicas, que conforma una barrera de rocas volcánicas en superficie con la cuenca del Salar de Maricunga, sin embargo existe la hipótesis de que pudiera existir una conexión subterránea con la cuenca del río Lamas en la zona surponiente de la cuenca. Esto se debe a que en esta zona se forma una montura en el basamento paleozico sobre el cual hay un domo volcánico, bajo este domo sólo se detecta el cuello del domo y depósitos aluviales permeables.

Al este existe un incipiente afloramiento de rocas paleozoicas al norte de la Laguna Verde, que se interpreta como basamento impermeable pero no se conoce su profundidad. En la subcuenca de Laguna Verde se encuentra el río Peñas Blancas que junto con numerosos afluentes nacidos de afloramientos subterráneos recargan la laguna Verde.

El sector con mayor potencial hidrogeológico está formado por acuíferos intergranulares de tipo libre formados con depósitos aluviales (PIQa y PliPla). Su transmisividad va de 3000 a 4000 m²/día y coeficiente de almacenamiento de 0.05. Los sectores de mayor importancia hidrogeológica son el campo de Piedra Pómez, pampas de Barrancas Blancas, Peñas Blancas, el llano de Tres Cruces y el llano del Fraile.

Otros acuíferos intergranulares de tipo libre a semiconfinados, de potencial medio a bajo son formados por depósitos volcanocálsticos (PliQvc), piroclásticos (PliQp), ignimbríticos (Qi), coluviales y de remoción en masa (Qc) y salinos(Qs). Su transmisividad es de 1000 m²/día y coeficiente de almacenamiento de 8×10^{-5} .

En la cordillera de Claudio Gay al noeste e la cuenca se encuentran depósitos de rocas sedimentarias (EMs) que constituirían acuíferos libres y semiconfinados en rocas fisuradas, con media a baja importancia hidrogeológica. Rocas fisuradas de Ignimbrita Laguna Verde (Pliilv) de la zona este de la cuenca y en el sector de campo de Piedra Pómez, donde están cubiertas por depósitos aluviales (PIQa y PliPla), forman probables acuíferos libres y/o confinados de mederada a alta importancia hidrogeológica.

Acuíferos con baja importancia hidrogeológica que ocurren en forma local y con espesor moderado como acuíferos libres, están conformados por lavas (EMv y PliQv) y depósitos lacustres (Ql). Su transmisividad va de 50 a 100 m²/día y coeficiente de almacenamiento de 9×10^{-4} .

Acuícludos de nula importancia hidrogeológica se forman el basamento impermeable (PzQ).



Los pozos perforados en la cuenca indican estratigrafías compuestas de arenas, gravas y gravillas de origen volcánico, tobas y andesitas. Todos los pozos poseen en al menos unas de sus partes zonas no confinadas, de modo que no existirían acuíferos confinados puros.

En términos generales el sistema es multiacuífero, constituido por acuíferos de distinto grado de confinamiento y de distintas constantes elásticas. El espesor de acuífero varía entre 200 a 350 m.

Los pozos de la quebrada de Piedra Pómez, al oeste, tienen nivel piezométrico que difiere en 60 a 70 m con el nivel piezométrico de los pozos de pampas de Barrancas Blancas, ubicados 2 km al este. Esto se explica por una desconexión hidráulica entre los dos sectores.

En los pozos de pampas de Barrancas Blancas el nivel piezométrico desciende hacia el sureste, en la quebrada de Piedra Pómez el nivel piezométrico desciende hacia sur oeste.

PERFIL HIDROGEOLÓGICO ESQUEMÁTICO

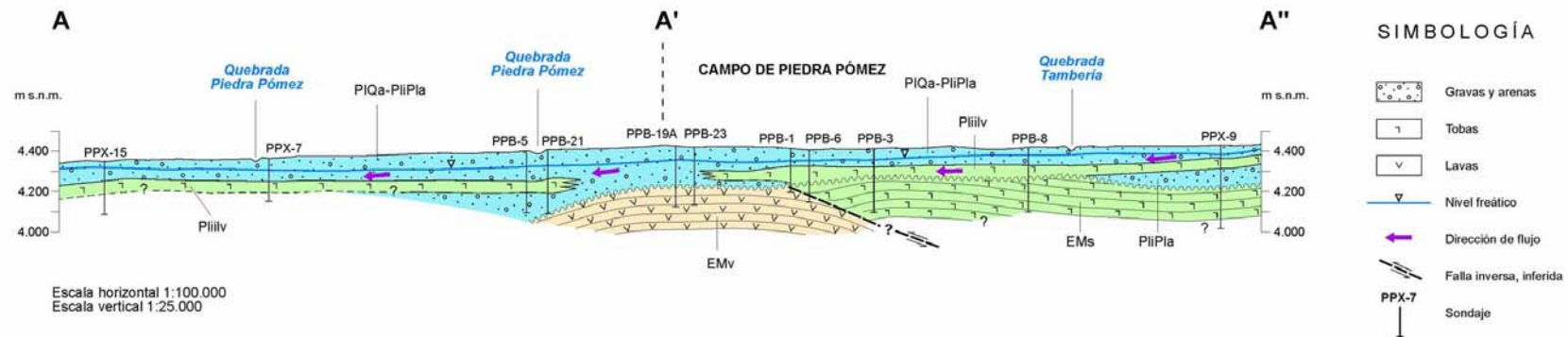


Figura 2.47: Perfil hidrogeológico esquemático de la cuenca Campo de Piedra Pómez (SERNAGEOMIN, 2005)

Tabla 2.29: Unidades geológicas en la cuenca Campo de Piedra Pómez-Laguna Verde, (SERNAGEOMIN, 2005).

ACUIFEROS DE ALTA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS		ACUIFEROS DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN DEPÓSITOS NO CONSOLIDOS		ACUIFEROS DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN ROCAS FISURADAS		ACUÍFEROS O ACUÍCLUDOS DE BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA		ACUÍCLUDOS O ACUÍFUGOS DE NULA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA	
Acuíferos intergranulares, extensos y altamente productivos		Acuíferos intergranulares, locales y con productividad irregular o extensos, pero sólo moderadamente productivos		Acuíferos fisurados, locales y con productividad irregular o extensos, pero sólo moderadamente productivos		Rocas o depósitos no consolidados que forman acuíferos menores con recursos de agua subterránea locales o limitados		Rocas o depósitos no consolidados, esencialmente sin recursos de agua subterránea	
PIQa	Depósitos aluviales del Pleistoceno Superior y Cuaternario	PliQvc	Depósitos volcanoclásticos del Plioceno y Cuaternario	Ems	Rocas sedimentarias del Eoceno al Mioceno	EMv	Lavass del Eoceno al Mioceno	PzQ	Lavas del Mioceno
		PliQp	Depósitos piroclásticos del Plioceno y Cuaternario						Intrusivos dacíticos del terciario
PliPla	Depósitos aluviales del Plioceno y Pleistoceno	Qi	Depósitos ignimbriáticos (Cuaternario)	Pliilv	Ignimbrita Laguna Verde (Plioceno Inferior)	PliQv	Lavass del Plioceno al Cuaternario		Intrusivos del Paleozoico
		Qc	Depósitos coluviales y de remoción en masa del Cuaternario						Sedimentitas del Paleozoico
		Qs	Depósitos salinos del Cuaternario					Lavas y brechas riolíticas del Paleozoico	
						QI	Depósitos lacustres del Cuaternario		

A continuación se encuentra la Tabla 2.30 donde se hace un resumen de los parámetros hidrogeológicos presentados en mapas del SERNAGEOMIN.

Tabla 2.30: Resumen de parámetros hidrogeológicos de estudios del SERNAGEOMIN

Año	Mapa	Lugar	Transmisividad	Espesor máximo	Conductividad hidráulica	Almacenamiento	
1998	Cuenca Laguna del Negro Francisco	Pampa Pantanillo (SITAC, 1992)	-		76 m/día	-	
2000	Sector Ciénaga Redonda	Sector Pantanillo (SITAC, 1992)	10 a 10 ⁴ m ² /día	48 a 78 m**	-	15 %	
		Formaciones PliQa	-	30 m	1300 a 4400 m/día	15%	
		Formaciones MsPliA	-	150 m	-	-	
		Formaciones OMs	-	200 m	10 ⁻⁴ y 10 ⁻² m/día	-	
		Formaciones Msv	-	50 m	10 ⁻⁵ a 10 ⁻³ m/día	-	
1999	Sector Salar de Maricunga	Sector Llano de Ciénaga Redonda (PliQa, MsPliA, Qf y Qfa)	Pozos sector sur MDO-9, MDO-23, MDO24	15000 a 43000 m ² /día	95-110 m	-	5 a 25%
			Pozos sector norte MDO-8 y MDO-10	4000 a 27000 m ² /día	95-110 m	-	5 a 25%
		Sector extremo noroeste del Salar (PliQa y MsPliA)	Pozos sector MDO-15, MDO-12, MDO-13, SR-5, CM-1 y MDO-1	150 a 3000 m ² /día	70-150 m	-	5 a 25%
		Sector extremo noreste del Salar (MsPliA)	Pozos sector CAN-6	600 m ² /día	110 m	-	5 a 15%
2005	Cuenca Campo de Piedra Pómez-Laguna Verde	PIQa y PliPla (EDRA, 1999)	3000 a 4000 m ² /día	100 m	-	0.05*	
		PliQvc, PliQp, Qi, Qc y Qs (EDRA, 1999)	1000 m ² /día	100	-	8x10 ⁻⁵ *	
		EMv, PliQv y Qi (EDRA, 1999)	50 a 100 m ² /día	50	-	9x10 ⁻⁴ *	

* Coeficiente de almacenamiento

** Buscado directamente en SITAC 1992.



2.2.3 Hidroquímica

A través del análisis de los isótopos contenidos en el agua monitoreada en el área de estudio se puede llegar a determinar las vías evolutivas del agua, esto permite que los elementos diluidos en el agua entreguen información de la cuenca de drenaje por la cual a ha pasado el agua.

En la cuenca del Salar de Maricunga se distinguen 3 tipos de vías evolutivas de las aguas que llegan al Salar. En el Salar mismo y sus alrededores se comprueba que prima el carácter cálcico por sobre los sulfatos contenidos en el agua. Desde la mitad sur de la laguna Santa Rosa y la parte sur del Llano de Ciénaga Redonda tienen vía evolutiva sulfatada. La laguna Santa Rosa está dividida entre las aguas sulfatadas del sur, provenientes del drenaje a través de rocas volcánicas, y las aguas cálcicas del norte (DGA SIT N°51⁶, 1999). El agua de la laguna Santa Rosa alcanza salinidades de 12000 mho (Ficha Ramsar, 1996).

⁶ DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), Universidad Católica del Norte (UCN), Institut de Recherche pour le Développement (IRD). 1999. Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II, III Regiones - Chile. S.I.T. N° 51. Volumen I Síntesis. Realizado por Risacher F., Alonso H., Salazar C.

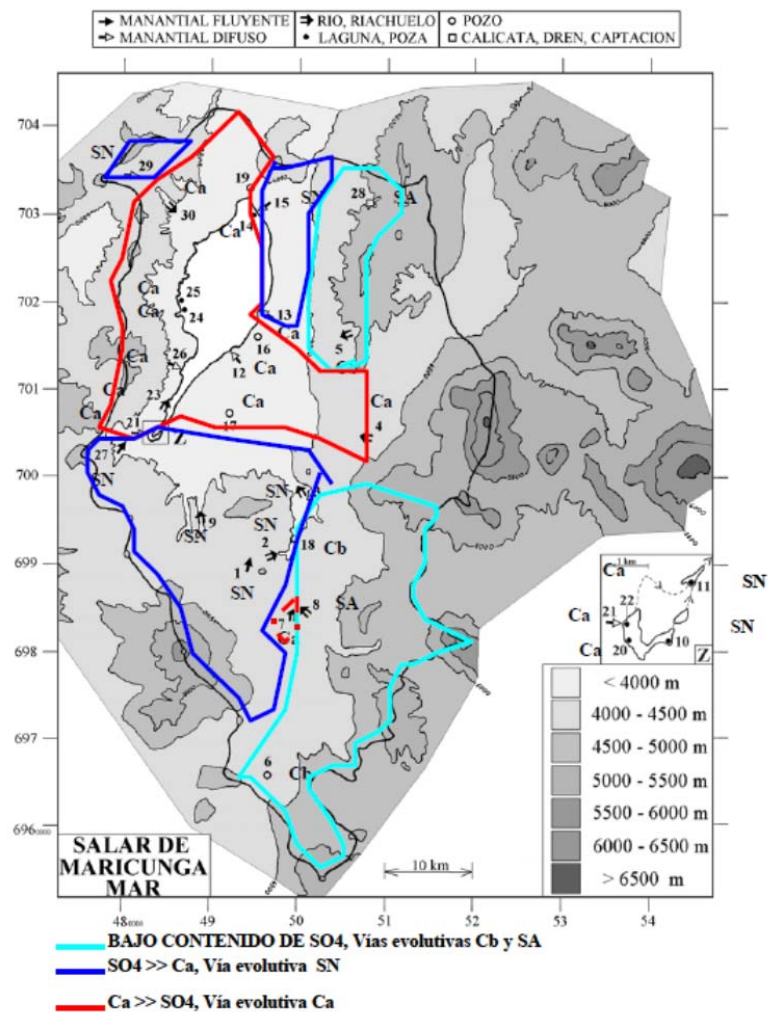


Figura 2.48: Vías evolutivas de las aguas de la cuenca del Salar de Maricunga. (Fuente: DGA SIT N°51⁷, 1999)

El agua subterránea que se mueve desde el este de la cuenca hacia el salar es de tipo Na+Ca/Cl haciendo que el agua al final de la hoya en la zona norte sea cálcica. Además, el agua superficial que se desplaza hacia el norte desde la laguna Santa Rosa va rediluyendo las sales evaporativas y salmueras cálcicas de tipo Na-Ca/Cl (DGA S.D.T N°225, 2006).

La geología del salar de Maricunga indica que está formado por una costra de halita (NaCl) y yeso (CaSO₄.H₂O)

Las aguas superficiales que aporta la Ciénaga Redonda hacia el Salar de Maricunga tienen vía evolutiva sulfatada neutra. Dentro de la cuenca, las aguas que provienen de la

⁷ DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), Universidad Católica del Norte (UCN), Institut de Recherche pour le Développement (IRD). 1999. Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II, III Regiones - Chile. S.I.T. N° 51. Volumen I Síntesis. Realizado por Risacher F., Alonso H., Salazar C.



cara oriental son carbonatadas y sulfatadas alcalinas, con bajo y moderado contenido de SO₄, y la vertiente occidental tiene mayor contenido de SO₄.

La laguna del Negro Francisco tiene registros de 10000 mho en su cuerpo de agua más salino (sector norte) y 5000 mho en la parte menos salinas sector Sur (Ficha Ramsar, 1996).

El proyecto Volcán midió parámetros físico-químicos en 2 puntos dentro de la laguna del Negro Francisco (A13 en la laguna norte y A14 en la laguna sur). En la Tabla 2.31 se muestran los datos in situ medidos para el proyecto Volcán en la Laguna del Negro Francisco. La salinidad de la laguna norte, representada por la conductividad medida, es mayor que la salinidad de la laguna sur, de ahí que en este estudio se hable de la laguna salada y la laguna salobre, respectivamente.

Tabla 2.31: Mediciones del Proyecto Minero Volcán en la laguna del Negro Francisco (Anexo 2.10.1).

Punto	Coordenadas UTM		Mediciones en Sitio						
	Este	Norte	Fecha	Hora (Hrs)	pH	Temp. (°C)	Oxígeno Disuelto mg/l (ppm)	Conductividad (µS/cm)	Salinidad * (ppt)
A13	475642	6961362	15/04/2010	12:30	7,7	10,6	-	-	
			19/12/2010	10:15	9,1	10,8	0	-	
			01/02/2011	10:20	9,2	16,5	-	-	
			12/05/2011	11:15	7,3	5,6	-	43000	>42
			27/10/2011	11:40	8,2	9,1	2,08	14920	12.8
			13/03/2012	11:10	7,6	11,7	5,12	>19990	>16.4
A14	476904	6960093	15/04/2010	12:00	8,0	10,0	-	-	
			19/12/2010	10:45	10,5	13,0	5,5	-	
			01/02/2011	11:45	10,3	16,1	2,4	-	
			12/05/2011	13:00	8,4	6,0	-	7100	6.3
			27/10/2011	12:45	9,5	8,8	5,25	1888	<2
			13/03/2012	12:10	9,6	12	7,06	5950	4.4

* Salinidad transformada a partir de los valores de temperatura y Conductividad in situ.

El agua que analizada en laboratorio (Tabla 6.30, Anexo) de los pozos del sector quebrada de la Sal tiene una conductividad de 0.551 mS/cm promedio, por lo que clasifica como agua dulce. Los sectores fluviales en las orillas norte y noreste de las lagunas tienen conductividad de 1.43 mS/cm en promedio, que es agua ligeramente salobre (Bernd, 2006).

Los cauces que llegan por el norte a la laguna del Negro Francisco tienen contenidos de metales As, B, Li y Na en mayor concentración (Anexo 6.6, Tabla 6.31), el Río la Gallina en cambio, llega por el sur a la laguna y tiene una baja concentración de todos los metales analizados por el proyecto volcán. El sector fluvial que aporta mayor silicio (25.5 mg/l promedio) es por el norte de la laguna salobre. En cuanto a los iones predominantes, en los cauces aportantes del norte predominan los cationes sodio, potasio y anión cloro; en el río la Gallina predominan el catión calcio y anión sulfato; y en las lagunas salada y salobre predominan el catión sodio y el anión cloro. En términos generales el contenido de sales y metales que aportan los cauces se van concentrando en la laguna salobre y en mayor medida en la laguna salada.



En la Tabla 2.32 se presenta un resumen de los datos de conductividad eléctrica (CE) en muestras de agua superficial registrados en los estudios realizados por proyectos mineros en la zona de estudio. La conductividad tomada como representación de la salinidad del agua superficial en la zona de estudio, indica que las aguas de las lagunas son principalmente salinas hasta salmueras. En los ríos y quebradas hay gran variedad de conductividades eléctricas teniéndose desde aguas dulces a salinas.

Tabla 2.32: Datos de Conductividad eléctrica de registrada por estudios del SEIA.

Proyecto	Estación	UTM Este WGS 84	UTM Norte WGS 84	Descripción	Cuenca	Tipo de Muestra	CE (uS/cm)
Volcán	A5	486860	6966065	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	1027.5
Volcán	A13	475642	6961362	Laguna salada (Negro Francisco)	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	184066.7
Volcán	A14	476904	6960093	Laguna salobre (Negro Francisco)	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	5554.2
Volcán	A21	471589	6958216	Río La Gallina	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	170.3
Volcán	A23	489865	6968921	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	596.7
Volcán	A28	482729	6963427	Sector noreste laguna salobre	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	1073.0
Volcán	A29	482916	6963084	Sector noreste laguna salobre	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	1793.2
Volcán	A30	478380	6964182	Sector norte laguna salada	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	1438.8
Volcán	A31	476186	6964850	Sector norte laguna salada	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	488.0
Volcán	A32	479319	6963805	Sector norte laguna salada	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	2363.0
Volcán	A34	491812	6970828	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	116.0
Volcán	A35	491009	6969787	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	241.5
Volcán	A36	489571	6968085	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	579.5
Volcán	A37	489193	6967897	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	695.0
Volcán	A38	488455	6967488	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	723.0
Volcán	A39	486976	6966258	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua superficial	1028.0
Volcán	P7	486502	6969158	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua subterránea	168.0
Volcán	VCA06	489189	6968089	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua subterránea	281.3
Volcán	VCA07	490950	6969838	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua subterránea	444.0
Volcán	VCA08	491037	6970293	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua subterránea	405.3
Volcán	VCA10	489123	6968506	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua subterránea	632.0
Volcán	VCA11	489479	6971863	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua subterránea	1204.0
Volcán	VCA12	488791	6968945	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua subterránea	465.0
Volcán	VCA13	488381	6969807	Quebrada de La Sal	Laguna Negro Francisco	Agua subterránea	555.0
Volcán	A18	500039	6985078	Barros Negros	Salar de Maricunga	Agua superficial	1555.7
Volcán	A33	499702	6998140	Valle Ancho en La Barrera	Salar de Maricunga	Agua superficial	1278.8
Volcán	A40	497181	6969318	Quebrada 3x1	Salar de Maricunga	Agua superficial	168.0



Proyecto	Estación	UTM Este WGS 84	UTM Norte WGS 84	Descripción	Cuenca	Tipo de Muestra	CE (uS/cm)
Volcán	A41	495972	6969279	Quebrada 3x1	Salar de Maricunga	Agua superficial	94.0
Volcán	A42	499380	6973898	Vega Pantanillo	Salar de Maricunga	Agua superficial	2175.0
Volcán	P3	500273	6985630	Barros Negros	Salar de Maricunga	Agua subterránea	1525.8
Volcán	P4	500295	6985967	Barros Negros	Salar de Maricunga	Agua subterránea	1327.8
Lobo-Marte	LM15	484929	6959006	Río Astaburuaga	Laguna Negro Francisco	Agua Superficial	710.0
Lobo-Marte	LM16	489977	6958522	Río Astaburuaga	Laguna Negro Francisco	Agua Superficial	850.0
Lobo-Marte	LM17	491440	6959960	Río Astaburuaga	Laguna Negro Francisco	Agua Superficial	824.2
Lobo-Marte	LM23	498882	6972972	Ciénaga Redonda Aguas Arriba	Salar de Maricunga	Agua Superficial	6025.0
Lobo-Marte	LM25	498804	6975431	Ciénaga Redonda Aguas Arriba	Salar de Maricunga	Agua Superficial	1523.3
Lobo-Marte	LM26	498245	6976412	Ciénaga Redonda Aguas Arriba	Salar de Maricunga	Agua Superficial	973.3
Lobo-Marte	LM27	498777	6980942	Ciénaga Redonda Aguas Arriba	Salar de Maricunga	Agua Superficial	3210.0
Lobo-Marte	LM33	496004	6990918	Quebrada Villalobos	Salar de Maricunga	Agua Superficial	705.0
Lobo-Marte	LM34	497024	6990626	Quebrada Villalobos	Salar de Maricunga	Agua Superficial	763.1
Lobo-Marte	LM35	498515	6990791	Quebrada Villalobos	Salar de Maricunga	Agua Superficial	799.7
Lobo-Marte	LM38	487182	6998416	Quebradas Pastillos y La Coipa	Salar de Maricunga	Agua Superficial	2692.0
Lobo-Marte	LM4	477574	6959374	Laguna Negro Francisco	Laguna Negro Francisco	Agua Superficial	3350.0
Lobo-Marte	LM40	483007	7004865	Laguna Santa Rosa	Salar de Maricunga	Agua Superficial	20476.7
Lobo-Marte	LM42	482729	7004132	Laguna Santa Rosa	Salar de Maricunga	Agua Superficial	13703.3
Lobo-Marte	LM48	485407	7008415	Salar de Maricunga	Salar de Maricunga	Agua Superficial	12173.3
Lobo-Marte	SWG1	475855	6960721	Laguna Negro Francisco	Laguna Negro Francisco	Agua Superficial	151621.4
Lobo-Marte	SWG10	498724	6991252	Quebrada Villalobos	Salar de Maricunga	Agua Superficial	635.7
Lobo-Marte	SWG12	494721	6990981	Quebrada Villalobos	Salar de Maricunga	Agua Superficial	681.7
Lobo-Marte	SWG13	499609	6996296	Ciénaga Redonda Aguas Abajo	Salar de Maricunga	Agua Superficial	1413.5
Lobo-Marte	SWG14	499493	6997788	Ciénaga Redonda Aguas Abajo	Salar de Maricunga	Agua Superficial	1305.1
Lobo-Marte	SWG15	506886	7004461	Río Lamas	Salar de Maricunga	Agua Superficial	3988.9
Lobo-Marte	SWG16	488678	6996699	Quebradas Pastillos y La Coipa	Salar de Maricunga	Agua Superficial	1251.0
Lobo-Marte	SWG17	483773	7003548	Laguna Santa Rosa	Salar de Maricunga	Agua Superficial	50933.8
Lobo-Marte	SWG18	483783	7003983	Laguna Santa Rosa	Salar de Maricunga	Agua Superficial	7660.0
Lobo-Marte	SWG19	485004	7006944	Salar de Maricunga	Salar de Maricunga	Agua Superficial	18628.8
Lobo-Marte	SWG2	476278	6960612	Laguna Negro Francisco	Laguna Negro Francisco	Agua Superficial	7902.9
Lobo-Marte	SWG20	485874	7008917	Salar de Maricunga	Salar de Maricunga	Agua Superficial	17958.3
Lobo-Marte	SWG4	495377	6961972	Río Astaburuaga	Laguna Negro Francisco	Agua Superficial	889.5
Lobo-Marte	SWG5	496698	6966638	Ciénaga Redonda Aguas Arriba	Salar de Maricunga	Agua Superficial	641.1



Proyecto	Estación	UTM Este WGS 84	UTM Norte WGS 84	Descripción	Cuenca	Tipo de Muestra	CE (uS/cm)
Lobo-Marte	SWG6	499499	6984053	Ciénaga Redonda Aguas Arriba	Salar de Maricunga	Agua Superficial	2300.4
Lobo-Marte	SWG7	499901	6983902	Ciénaga Redonda Aguas Arriba	Salar de Maricunga	Agua Superficial	176.4
Lobo-Marte	SWG8	499833	6984724	Ciénaga Redonda Aguas Arriba	Salar de Maricunga	Agua Superficial	1496.2
Lobo-Marte	SWG9	494275	6988694	Quebrada Villalobos	Salar de Maricunga	Agua Superficial	653.2
Casale	RLC-0(RLC-S1)	508035	7005573	Río lama (surgencia)	Campo de Piedra Pómez y Río Lamas	Agua Superficial	1000.0
Casale	RLC-1	507924	7005376	Río Lama	Campo de Piedra Pómez y Río Lamas	Agua Superficial	1250.0
Casale	RLC-2	507847	7005261	Río Lama	Campo de Piedra Pómez y Río Lamas	Agua Superficial	2750.0
Casale	RLC-3	506787	7004474	Río Lama	Salar de Maricunga	Agua Superficial	4075.0
Casale	RLC-4	507029	7004481	Río Lama	Campo de Piedra Pómez y Río Lamas	Agua Superficial	4050.0
Casale	RLC-5	505214	7004524	Río Lama	Salar de Maricunga	Agua Superficial	4000.0
Casale	RLC-6	504844	7004337	Río Lama	Salar de Maricunga	Agua Superficial	4100.0
Casale	RLC-7	503718	7004327	Río Lama	Salar de Maricunga	Agua Superficial	4100.0
Casale	RLC-8	501362	7005158	Río Lama	Salar de Maricunga	Agua Superficial	4050.0
Casale	RLC-9	501365	7005162	Río Lama	Salar de Maricunga	Agua Superficial	4100.0
Casale	LM-1	486219	7008858	Salar de Maricunga	Salar de Maricunga	Agua Superficial	5800.0
Casale	LM-2	488486	7013150	Salar de Maricunga	Salar de Maricunga	Agua Superficial	8450.0
Casale	LM-3	491926	7013969	Salar de Maricunga	Salar de Maricunga	Agua Superficial	6200.0
Casale	LM-4	483839	7004002	S. de Maricunga (en L. Sta.Rosa)	Salar de Maricunga	Agua Superficial	7500.0
Casale	LV-3	542271	7027197	Río Peñas Blancas(afloramiento)	Laguna Verde	Agua Superficial	5100.0
Casale	LV-4	542333	7027177	Río Peñas Blancas(afloramiento)	Laguna Verde	Agua Superficial	2366.7
Casale	LV-5	542346	7027138	Río Peñas Blancas(afloramiento)	Laguna Verde	Agua Superficial	1750.0
Casale	V-6	544379	7027621	Río Peñas Blancas	Laguna Verde	Agua Superficial	4050.0
Casale	LV-11	548381	7028773	Río Peñas Blancas	Laguna Verde	Agua Superficial	3100.0
Casale	LV-1	486219	7008858	Laguna Verde (litoral)	Laguna Verde	Agua Superficial	196666.7
Casale	LV-2	488486	7013150	Laguna Verde (litoral)	Laguna Verde	Agua Superficial	196666.7
Casale	LV-7	555831	7024591	Laguna Verde (vega)	Laguna Verde	Agua Superficial	2000.0
Casale	LV-8	552933	7025365	Laguna Verde (profundidad)	Laguna Verde	Agua Superficial	199000.0
Casale	LV-9	552765	7026375	Laguna Verde (profundidad)	Laguna Verde	Agua Superficial	199000.0
Casale	LV-10	552776	7027387	Laguna Verde (profundidad)	Laguna Verde	Agua Superficial	200000.0
Casale	RL	506768	7004483	Río Lamas	Salar de Maricunga	Agua Superficial	4013.3
Casale	RVA	499505	6997800	Río Valle Ancho	Salar de Maricunga	Agua Superficial	1266.7
Casale	RLj	499878	6983913	Río Lajitas	Salar de Maricunga	Agua Superficial	193.0
Casale	RA	495381	6962030	Río Astaburoaga	Laguna Negro Francisco	Agua Superficial	875.5
Casale	CB	483267	7032468	Caballo muerto	Salar de Maricunga	Agua Superficial	805.0
Casale	QCo	503283	7015802	Qbda Colorada	Salar de Maricunga	Agua Superficial	709.0

2.2.4 Biota

2.2.4.1 Flora y vegetación

Las formaciones vegetacionales en el Sector norte del Parque Nacional Nevado de Tres Cruces son propias de la Estepa Desértica de los Salares Andinos; mientras que el sector Sur del Parque pertenece a la formación de Estepa Altoandina Cordillera Doña Ana. Por otro lado en el sector de lagunas Bravas, Laguna Verde, Pampa de Barrancas Blancas, Laguna Escondida y Salar Wheelwright se tiene la formación vegetacional de Estepa Andina según la clasificación a nivel regional de Ahumada y Faúndez (SAG, 2009). Dentro de esta clasificación a nivel local es posible reconocer formaciones del tipo Vega, Bofedal y Pajonal Húmedo (o hídrico) en las zonas donde hay disponibilidad de agua.

En la zona sur del parque nevado de tres cruces hay formación de vegas y bofedales de agua dulce gracias al afloramiento de agua subterránea en el sector donde se unen los dos cuerpos de agua que componen la laguna del Negro Francisco. También aparecen estas configuraciones en la desembocadura del río Astaburuaga por el aporte de agua dulce que hace el río (RAMSAR, 1996). En estos sectores se ven plantas herbáceas del tipo gramíneas como *Calandrinia oculata*, *Deuyexiacurvula*, *Potamogetonstrictus* y *Ranunculus cimbalaria* (RAMSAR, 1996).

En la laguna Santa Rosa existen 2 sectores en que puede verse una marcada diferencia en la vegetación. Uno está formado por el cuerpo de agua ubicado en la zona oeste y el otro está formado por los 2 cuerpos de agua de conformación subtriangular que van unidos al salar de Maricunga a través de un canal de ancho variable (RAMSAR, 1996). En el cuerpo Oeste se forman cojinetes de *Scirpus* sp. En las orillas hasta una extensión de 2 metros, luego hacia las laderas se encuentra *Stipafrigida* y *Adesmiaaecigeras*. En el cuerpo Este existe vegas o bofedales que se distribuyen de acuerdo a la salinidad. En las orillas hay vegetación sumergida de *Ruppiafilifolia* y *Potamogetonstrictus*, vegetación no sumergidas se encuentran *Scirpus* sp, *Deuyexiavelutina* y *Triglochinpalustris*. Más lejos del agua, donde la humedad disminuye, se encuentra *Deschampsia caespitosa* y más allá se extiende una vegetación rala de estepa de *Stipa frígida* (RAMSAR, 1996).

Tabla 2.33: Especies observadas y registradas según Ficha RAMSAR (1996), en los sectores de la Laguna del Negro Francisco y Laguna Santa Rosa.

Clasificación	Laguna del Negro Francisco	Laguna Santa Rosa
1. Semileñosas y cojines:	<i>Calceolaria pinnifolia</i> <i>Oxychloe andina</i> <i>Patosia clandestina</i> <i>Arenarisrivularis</i> <i>Malesherbialactea</i> <i>Menovilleacuneata</i> <i>Scirpus</i> sp. <i>Nastanthuscaespitosus</i> <i>Ranunculuscymbalaria</i> <i>Ranunculusuniflorus</i>	<i>Calceolaria pinnifolia</i> <i>Oxychloe andina</i> <i>Patosia clandestina</i> <i>Arenarisrivularis</i> <i>Malesherbialactea</i> <i>Menovilleacuneata</i> <i>Scirpus</i> sp. <i>Nastanthuscaespitosus</i> <i>Ranunculuscymbalaria</i> <i>Ranunculusuniflorus</i>
2. Pastos Perennes	<i>Deyeuxiavelutina</i> <i>Deyeuxiaeminens</i> <i>Deyeuxiacurvula</i> <i>Deyeuxianigriscens</i> <i>Deschampsia caespitosa</i> <i>Critesionsantacrucense</i> <i>Critesioncomosum</i>	<i>Deyeuxiavelutina</i> <i>Deyeuxiaeminens</i> <i>Deyeuxiacurvula</i> <i>Deyeuxianigriscens</i> <i>Deschampsia caespitosa</i> <i>Critesionsantacrucense</i> <i>Critesioncomosum</i>



Clasificación	Laguna del Negro Francisco	Laguna Santa Rosa
	<i>Juncusbalticus</i> <i>Poa brevis</i> <i>Poa sp.</i> <i>Puccinelliaoresigena</i> <i>Scripusamericanus</i> <i>Stipachrysophylla</i>	<i>Juncusbalticus</i> <i>Poa brevis</i> <i>Poa sp.</i> <i>Puccinelliaoresigena</i> <i>Scripusamericanus</i> <i>Stipachrysophylla</i>
3. Herbáceas anuales	<i>Chaetantheraspp.</i> <i>Giliacrassifolia</i> <i>Paceliacumingii</i> <i>Doniophytonanomalum</i>	<i>Chaetantheraspp.</i> <i>Giliacrassifolia</i> <i>Paceliacumingii</i> <i>Doniophytonanomalum</i>
4. Plantas Acuáticas	<i>Ruppiafilifolia</i> <i>Musgo sp.</i> <i>Charasp.</i> <i>Lilaeopsisandina</i> <i>Miriophyllumaquaticum</i> <i>Potemogetonstrictus</i> <i>Triglochinpalustris</i>	<i>Ruppiafilifolia</i> <i>Musgo sp.</i> <i>Charasp.</i> <i>Lilaeopsisandina</i> <i>Miriophyllumaquaticum</i> <i>Potemogetonstrictus</i> <i>Triglochinpalustris</i>

En el estudio edafológico realizado para el EIA del proyecto de reapertura de los rajes Lobo y Marte, se destaca que los únicos parámetros analizados que difieren entre los suelos de vegetación zonal y azonal son el pH, la salinidad y los carbonatos (Línea de Base Reinicio y Expansión Proyecto Lobo-Marte, AMEC 2011).

La consultora GAC (2012) realizó una caracterización de la vegetación para el proyecto "Sondajes de exploración de litio" de Simbalik Group Inversiones Ltda., en donde encontró la vegetación que se presenta en la Tabla 2.34.

Tabla 2.34: Vegetación del salar de Maricunga Sector Norte (GAC, 2012)

Estructura vegetaciona	Manifestaciones vegetales	Forma biológica	Nombre científico	Nombre Común
Vegetación Zonal	Pradera Altoandina	Herbáceas cespitosas	<i>Pappostipa frígida</i>	
Vegetación Zonal	Pradera Altoandina	Especies arbustivas	<i>Adesmia aegiceras</i>	Varilla chica
Vegetación Zonal	Pradera Altoandina	Hierba perenne	<i>Cristaria andicola</i>	Malvilla
Vegetación Azonal	Vega	Césped	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	Calpaco
Vegetación Azonal	Pajonal hídrico	Herbáceas cespitosas y matas	<i>Deyeuxia velutina</i>	
Vegetación Azonal	Pajonal hídrico	Herbáceas cespitosas y matas	<i>Phylloscirpus acaulis</i>	
Vegetación Azonal	Pajonal hídrico	Herbáceas cespitosas y matas	<i>Puccinellia frígida</i>	
Vegetación Azonal	Vega-Pajonal hídrico	Hierba perenne	<i>Calandrinia compacta</i>	
Vegetación Azonal	Vega-Pajonal hídrico	Hierba perenne	<i>Ranunculus cymbalaria</i>	Cucharilla
Vegetación Azonal	Vega-Pajonal hídrico	Hierba perenne	<i>Hordeum pubiflorum</i>	

2.2.4.2 Biota acuática

La biota acuática que se encuentra en los sistemas altiplánicos se encuentra caracterizada por especies con un alto endemismo ya que se ha adaptado a las condiciones extremas y es capaz de tolerar altas fluctuaciones de temperatura, salinidad, pH y composición química (Scheihing et al., 2010). Es por ello que la diversidad diatomológica es baja en estos lagos de altura, presentando comunidades con pocas especies y alta dominancia de algunas de ellas (RAUTIO et al., 2000; ALVIAL et al., 2008)

Los fitobentos y fitoplancton, como productores, constituyen la base de las cadenas tróficas de los sistemas acuáticos altiplánicos. Dentro de los sistemas lóticos del corredor biológico existen especies fitobentónicas del orden Pennales (Diatomeas Bacillariophyceae), que tienen la característica de habitar en los fondos en ausencia de luz directa habiéndose adaptado a realizar otras formas de autotrofia distintas a la fotosíntesis a partir de los nutrientes que posee el sustrato de fondo (Parra & Bicudo 2006). Además se encontró presencia del género *Fragilaria sp* que tiene la particularidad de vivir en ambientes con luz tenue (MWH Casale, 2011). El fitoplancton por otro lado se ubica en el agua cercano a las zonas superficiales ya que utiliza la luz del sol para realizar fotosíntesis. Tanto en las cercanías de las surgencias, como en los canales y las lagunas terminales se encontró que el principal fitoplancton correspondía a especies de diatomeas (MWH Casale, 2011).

Las comunidades de diatomeas bentónicas responden al aumento de nutrientes, sobre todo nitrógeno y fósforo en el agua mediante cambios en la composición de la comunidad. Por este motivo la importancia en el uso de las diatomeas como indicadores destaca por su correlación con las concentraciones de nutrientes, de manera que este grupo de algas puede alcanzar una importancia destacada en condiciones de contaminación orgánica y eutrofización. Con respecto a las alteraciones hidromorfológicas en el hábitat (en régimen hidrológico, modificación del lecho y continuidad del río) las diatomeas son poco sensibles a este tipo de alteraciones (Pardo et al., 2010).

En los puntos analizados por los estudios de impacto ambiental desarrollados en la zona, se encontró que los zoobentos estaban principalmente representados por insectos de los órdenes Díptera, Amphipoda, Coleoptera y Ephemeroptera. Normalmente los siguientes consumidores en las cadenas tróficas acuáticas pertenecen a los peces, sin embargo en los estudios de impacto ambiental no se registró presencia de esta componente en los sistemas acuáticos de la zona de estudio (MWH Casale, 2011).

2.2.4.3 Fauna

En el sector de estudio los vertebrados están representados principalmente por reptiles, aves, roedores, camélidos y felinos. Dentro de los reptiles estos están representados por la SubFamilia Liolaemidae, tipos de lagartijas que se alimentan de insectos.

Tabla 2.35: Reptiles identificados en la zona de estudio en estudios científicos

CLASSE REPTILIA	Sector	Fuente	Observaciones
<i>Liolaemus patriciaturrae</i>	Laguna Santa Rosa	Moreno et al., 2000	Laderas arenosas abiertas, bajo y entre grietas de rocas criofracturadas. Asociado a gramíneas del género Festuca y Stipa
<i>Liolaemus rosenmanni</i>	Laguna Santa Rosa	Moreno et al., 2000	Terrenos arenosos, bajo rocas, en cuevas o madrigueras abandonadas de <i>Ctenomys fulvus</i>
<i>Liolaemus sp.</i>	Quebrada de la Sal	Moreno et al., 2000	
<i>Liolaemus sp.</i>	Rivera Suroeste de la Laguna del Negro Francisco	Moreno et al., 2000	
<i>Liolaemus rosenmanni</i>	Laguna del Negro Francisco	Pincheira - Donoso & Núñez 2005	
<i>Liolaemus patriciaturrae</i>	Salar de Pedernales y La Ola (tierra típica)	Pincheira - Donoso & Núñez 2005	Se refugia entre las piedras resquebrajadas. Alimentación mixta (insectos y vegetales)

Dentro de los roedores identificados se encuentra la Vizcacha de la Sierra (*Lagidium viscacia*). Esta especie está dentro de la categoría de conservación correspondiente a "vulnerable", habita en roqueríos áridos del altiplano y su alimentación corresponde a plantas disponibles en el sector en especial la gramínea *Stipa bomanii* (Cortés et al., 2002).

La laguna Santa Rosa y muy especialmente la Laguna del Negro Francisco son utilizados por flamencos, aves migratorias que llegan durante el periodo estival a las lagunas (CONAF, 2013). En particular en la zona de estudio se ha registrado la presencia de flamencos de tres especies *Phoenicoparrus chilensis*, *Phoenicoparrus andinus* y *Phoenicoparrus jamesi* (CONAF, 2013). Estas especies utilizan los ecosistemas formados por los salares para construir sus nidos dentro de las lagunas, en islotes que ellos mismos levantan con barro y vegetación acuática para protegerlos de ataques de predadores como los zorros (Hulbert and Keith 1979, citado en de la Fuente & Niño 2010; Mascitti & Nicolossi, 1992).

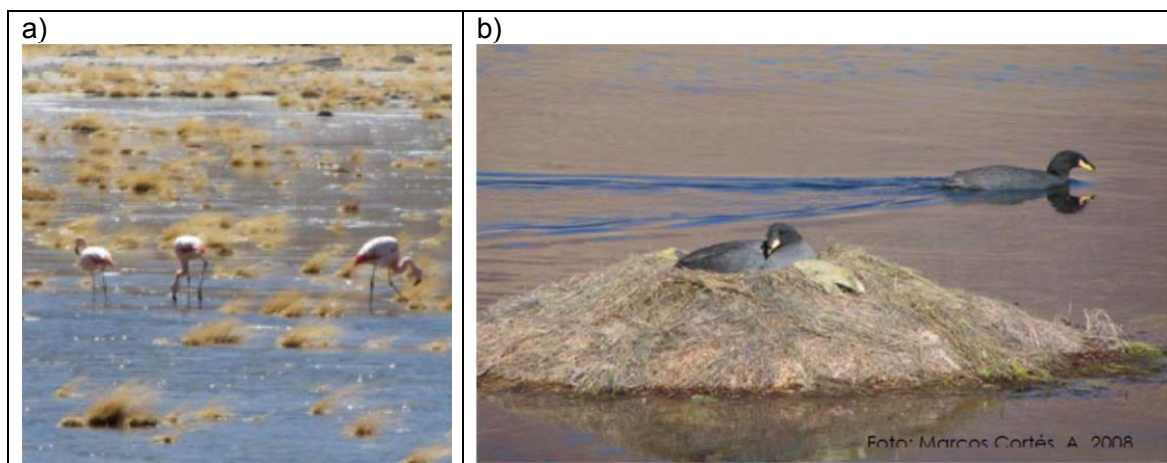


Figura 2.49: a) Flamencos chilenos (*Phoenicopterus chilensis*) detectados en el subsector Maricunga – Río Lamas (Línea de base EIA proyecto CASALE, MWH 2011); b) Nidificación de Tagua Cornuda (CONAF, 2008).

La Laguna del Negro Francisco es el lugar más austral donde se tienen registros de *Phoenicoparrus andinus*. Durante el Censo Estival de Avifauna Altoandina se registró nidificación de flamencos de James (200 nidos en diciembre) en el sector de la laguna salada a unos 6 m de la orilla. Además de la tagua cornuda y el flamenco, el Blanquillo (*Podiceps occipitalis*) también nidifica en el agua. En particular ha sido observado en la Laguna Santa Rosa en época Estival (CONAF, 2010b).

En censos de avifauna realizados por CONAF entre los años 2007 y 2010, entre el salar de Pedernales y la Laguna del Negro Francisco, se informa una disminución sostenida en el número de individuos censados en las campañas de invierno, con 1016 ejemplares censados el 2007 y sólo 278 ejemplares censados el año 2010 (CONAF, 2010a).

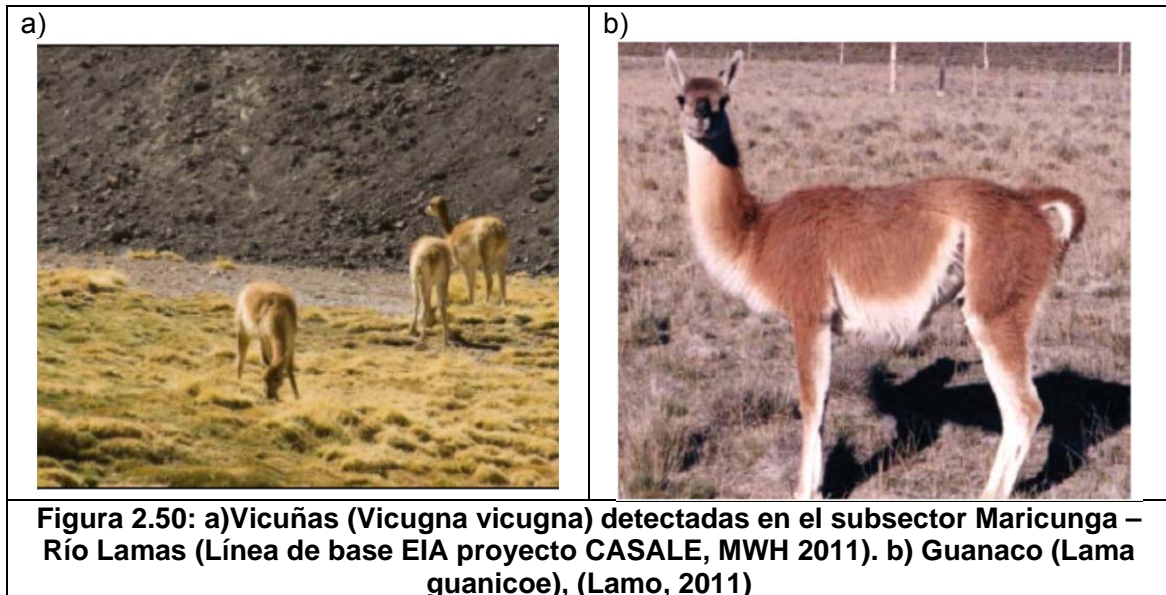
Otra ave de importancia en la zona de estudio es la Tagua cornuda (*Fulica cornuta*), especie con categoría de conservación vulnerable que se desarrolla en ambientes acuáticos con presencia de plantas macrófitas del género *Ruppia* de las que se alimenta y también utiliza para la fabricación de sus nidos, siendo la laguna Santa Rosa uno de los sitios de mayor importancia reproductiva a nivel nacional. Además de plantas también se alimenta de microcrustáceos del género *Hyaella* (CONAF, 2008). Predadores de importancia de la tagua cornuda son la Gaviota andina (*Larus serranus*) que depreda los huevos y los polluelos de los nidos, y el zorro Cumpeo (*Pseudalopex culpaeus*) que depreda preferentemente ejemplares adultos que descansan en las orillas de las lagunas (CONAF, 2008).

Tabla 2.36: Especies de aves registradas en sector Pantanillo (CONAF 2010a).

Nombre común	Especie	Fuente:
Pato juarjual	<i>Lophonetta specularioides</i>	CONAF 2010.
Gaviota Andina	<i>Larus Serranus</i>	CONAF 2010.
Pato jergón chico	<i>Anas flavirostris</i>	CONAF 2010.
Guallata	<i>Choenphaga melanoptera</i>	CONAF 2010.
Dormilona fraile	<i>Muscisaxicola flavinucha</i>	CONAF 2010.

Los censos de camélidos realizados por CONAF entre los años 2009 a 2011 registraron avistamientos de vicuñas con una mayor concentración entre la Quebrada Pantanillo y la

Quebrada de Ciénega Redonda, y en la laguna Santa Rosa. Con respecto a guanacos la densidad de individuos es mayor en la Laguna del Negro Francisco y en el sector de la Quebrada Pantanillo (CONAF, 2011).



En el año 1996 se hizo una caracterización de la fauna del sitio Ramsar ubicado en el área de estudio, ésta fue hecha por personal de CONAF en base a observaciones y a material bibliográfico. En el Sitio Ramsar se han registrado presencia de vicuñas, guanacos, chululo, tagua cornuda (que colonizó el área de la laguna en 1994), pato Juarjual. El detalle de la estructura de fauna en el sitio Ramsar se presenta en la Tabla 2.37.

Tabla 2.37: Estructura y composición faunística del sector Laguna del Negro Francisco (Ficha Ramsar, 1996)

Laguna del Negro Francisco					
TAXA			Estado Biológico	Estado de Conservación	Ant
CLASE AVES					
Orden Podicipediformes	Familia Podicipedidae	<i>Podiceps occipitalis</i>	R	-	O
Orden Falconiformes	Familia Cathartidae	<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	R	-	O
	Familia Accipitridae	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	?	-	O
Orden Phoenicopteriformes	Familia Phoenicopteridae	<i>Phoenicopus chilensis</i>	R	V	O
		<i>Phoenicoparrus andinus</i>	R	V	O
		<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	R	V	O
Orden Anseriformes	Familia Anatidae	<i>Anas sibilatrix</i>	R	-	O
		<i>Anas puna</i>	R	-	O
		<i>Anas flavirostris</i>	R	-	O
		<i>Anas platalea</i>	V	-	O
		<i>Lophonetta specularioides</i>	V	-	O
		<i>Chloephaga melanoptera</i>	R	V	O
		<i>Fulica cornuta</i>	R	V	O
Orden Ralliformes	Familia Rallidae	<i>Gallinula chloropus</i>	V	-	O
		<i>Charadrius alticola</i>	R	-	O
Orden Charadriiformes	Familia Charadriidae	<i>Charadrius alticola</i>	R	-	O
	Familia Scolopacidae	<i>Calidris bairdii</i>	Mhn	-	O
		<i>Calidris melanotos</i>	Mhn	-	O
		<i>Phalaropus tricolor</i>	Mhn	-	O
	Familia Recurvirostridae	<i>Recurvirostra andina</i>	R	-	O
	Familia Thinocoridae	<i>Thinocorus orbignyianus</i>	?	-	O
<i>Attagis gayi</i>		R	R	O	
Familia Laridae	<i>Larus serranus</i>	R	R	O	
Orden Passeriformes	Familia Furnariidae	<i>Geositta isabellina</i>	R	-	O
	Familia Emberizidae	<i>Sicalis uropygialis</i>	R	-	O
		<i>Sicalis auriventis</i>	R	-	O
		<i>Zonotrichia capensis</i>	R	-	O
	Familia Tyrannidae	<i>Agriornis montana</i>	R	-	O
		<i>Muscisaxicola flavinucha</i>	?	-	O
		<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	?	-	O
		<i>Muscisaxicola frontalis</i>	?	-	O
		<i>Lessonia oreas</i>	?	-	O
<i>Lessonia rufa</i>	R	-	O		
CLASE MAMMALIA					
Orden carnivora	Familia Canidae	<i>Pseudalopex culpaeus</i>	R	Y	O
Orden Artiodactyla	Familia Camelidae	<i>Lama guanicoe</i>	R	P	O
		<i>Vicugna vicugna</i>	R	P	O
Orden Rodentia	Familia Cricetidae	<i>Phyllotis darwini</i>	R	-	L
		<i>Abrothrix andinus</i>	R	-	L
	Familia Chinchillidae	<i>Lagidium viscacia</i>	R	V	O
	Familia Ctenomidae	<i>Ctenomys fulvus</i>	R	-	O
Orden Logomorfa	Familia Leporidae	<i>Lepus capensis</i>	R	-	O
CLASE REPTILIA					



Laguna del Negro Francisco					
TAXA			Estado Biológico	Estado de Conservación	Ant
Orden squamata	Familia Iguanidae	<i>L. eleodori</i>	R*	-	L
		<i>L. alticolor</i>	-	-	L
		<i>L. multiformis</i>	-	-	L
		<i>L. nigriceps</i>	V*	-	L
* Estado de conservación descrito por Valladares (2011).					
Clave:					
Estado Biológico			Estado de Conservación		
R = Se reproduce o se ha reproducido en el área			P = En Peligro		
V = Visitante			V = Vulnerable		
Vo = Visitante ocasional			R = Rara		
Vr = Visitante Regular			I = Amenaza Indeterminada		
M = Migrador			Ant = Antecedentes		
MHN = Migrador Hemisferio Norte			O = Observado		
Mh = Migrador horizontal en el país			L = Según Literatura		
Referencias bibliográficas de la tabla:					
Arroyo, M.; Marticorena, C. and Villagrán, C., 1988. La Flora de la Cordilera de los Andes, en el área de la Laguna Grande y la Laguna Chica, III Región, Chile. Gayana, Botánica 42: 3-46.					
Bencke, R., 1987. Informe preliminar sobre la factibilidad técnica y ecológica de extraer agua de la Laguna del Negro Francisco, III Región. MOP, DGA, 42 pp.					
Oyarzo, H. and Correa, H., 1990. Avifauna asociada a la Laguna del Negro Francisco, III Región de Atacama, Chile. I Congreso Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos. Ses. y Res. Antofagasta, Chile 25-34.					
Oyarzo, H. and Bascuñan, F., 1994. El Patrimonio Ecológico de Atacama. Dto. Técnico, CONAF III Región, 43 pp.					

Tabla 2.38: Estructura y composición faunística del sector Laguna Santa Rosa (Ficha Ramsar, 1996)

Laguna Santa Rosa					
TAXA			Estado Biológico	Estado de Conservación	Ant.
CLASE AVES					
<u>Orden Tinamiformes</u>	Familia Tinamidae	<i>Tinamotis pentlandii</i> (Perdiz de la Puna)	R	V	O
<u>Orden Podicipediformes</u>	Familia Podicipedidae	<i>Podiceps occipitalis</i> (Blanquillo)	R	-	O
<u>Orden Falconiformes</u>	Familia Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i> (Cóndor de los Andes)	R	V	O
	Familia Falconidae	<i>Falco peregrinus</i> (Halcón peregrino)	?	P	O
		<i>Falco femoralis</i> (Halcón perdiguero)	?	-	O
		<i>Falco sparverio</i>	R	-	O
		<i>Phalcoboenus megalopterus</i> (Tiuque cordillerano)	R	-	O
<u>Orden Phoenicopteriformes</u>	Familia Phoenicopteridae	<i>Phoenicopus chilensis</i> (Flamenco chileno)	R	V	O
		<i>Phoenicoparrus andinus</i> (Flamenco andino)	R	V	O
		<i>Phoenicoparrus jamesi</i> (Parina chica)	R	V	O
<u>Orden Anseriformes</u>	Familia Anatidae	<i>Anas cyanoptera</i> (Pato colorado)	V	-	O
		<i>Anas spinicauda</i> (Pato jergón)	V	-	O
		<i>Anas sibilatrix</i> (Pato real)	R	-	O
		<i>Anas puna</i> (Pato puna)	R	-	O
		<i>Anas flavirostris</i> (Pato jergón chico)	R	-	O
		<i>Anas platyleuca</i> (Pato cuchara)	V	-	O
		<i>Lophonettas peculiaroides</i> (Pato Juarjua)	R	-	O
		<i>Chloephaga melanoptera</i> (Gualata)	R	V	O
<u>Orden Ralliformes</u>	Familia Rallidae	<i>Fulica leucoptera</i> (Tagua chica)	V	-	O
		<i>Fulica rufifrons</i> (Tagua de frente roja)	V	-	O
		<i>Fulica cornuta</i> (Tagua cornuda)	R	V	O
<u>Orden Charadriiformes</u>	Familia Charadriidae	<i>Charadrius alticola</i> (Choro de la Puna)	R	-	O
		<i>Charadrius alexandrinus</i>	?	-	O
	Familia Scolopacidae	<i>Calidris bairdii</i> (Pollito de la vega)	Mhn	-	O
		<i>Calidris melanotos</i> (Playero pectoral)	Mhn	-	O
		<i>Tringa melanoleuca</i> (Pitotoy)	Mhn	-	O
		<i>Phalaropus tricolor</i>	Mhn	-	O
		<i>Gallinago andina</i>	?	V	O
	Familia Recurvirostridae	<i>Recurvirostra andina</i> (Caití)	R	-	O
	Familia Thinocoridae	<i>Thinocorus orbignyianus</i>	?	-	O
<i>Attagis gayi</i> (Perdiz cordillerana)		R	R	O	
Familia Laridae	<i>Larus serranus</i> (Gaviota Andina)	R	R	O	
<u>Orden Passeriformes</u>	Familia Hirundinidae	<i>Notiochelidon cyanoleuca</i>	R	-	O
	Familia Furnariidae	<i>Geositta isabellina</i> (Minero, caminante)	R	-	O
		<i>Geositta rufipennis</i>	?	-	O
	Familia Emberizidae	<i>Sicalis uropygialis</i>	R	-	O
		<i>Sicalis auriventis</i>	R	-	O
	Familia Tyrannidae	<i>Agriornis montana</i>	R	-	O
		<i>Muscisaxicola</i>	?	-	O



Laguna Santa Rosa					
TAXA			Estado Biológico	Estado de Conservación	Ant.
		<i>Flavinucha (Dormilona fraile)</i>			
		<i>Muscisaxiola frontalis</i>	?	-	O
		<i>Lessonia rufa</i>	R	-	O
CLASE MAMMALIA					
Orden carnivora	Familia Canidae	<i>Pseudalopex culpaeus (zorro culpeo)</i>	R	Y	O
	Familia Felidae	<i>Felis concolor (puma de montaña)</i>	?	P	L
Orden Artiodactyla	Familia Camelidae	<i>Lama guanicoe (Guanaco)</i>	R	P	O
		<i>Vicugna vicugna (Vicuña)</i>	R	P	O
Orden Rodentia	Familia Chinchillidae	<i>Lagidium viscacia (Vizcacha de la sierra)</i>	R	V	O
	Familia Ctenomidae	<i>Ctenomys fulvus (Tucotuco del tamarugal o tucotuco de atacama)</i>	R	-	O
Orden Logomorfa	Familia Leporidae	<i>Lepus capensis (liebre)</i>	R	-	O
Clave:					
Estado Biológico			Estado de Conservación		
R = Se reproduce o se ha reproducido en el área			P = En Peligro		
V = Visitante			V = Vulnerable		
Vo = Visitante ocasional			R = Rara		
Vr = Visitante Regular			I = Amenaza Indeterminada		
M = Migrador			Ant = Antecedentes		
MHN = Migrador Hemisferio Norte			O = Observado		
Mh = Migrador horizontal en el país			L = Según Literatura		
Referencias bibliográficas de la tabla:					
Arroyo, M.; Marticorena, C. and Villagrán, C., 1988. La Flora de la Cordilera de los Andes, en el área de la Laguna Grande y la Laguna Chica, III Región, Chile. Gayana, Botánica 42: 3-46.					
Bencke, R., 1987. Informe preliminar sobre la factibilidad técnica y ecológica de extraer agua de la Laguna del Negro Francisco, III Región. MOP, DGA, 42 pp.					
Oyarzo, H. and Correa, H., 1990. Avifauna asociada a la Laguna del Negro Francisco, III Región de Atacama, Chile. I Congreso Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos. Ses. y Res. Antofagasta, Chile 25-34.					
Oyarzo, H. and Bascuñan, F., 1994. El Patrimonio Ecológico de Atacama. Dto. Técnico, CONAF III Región, 43 pp.					



2.3 ESTUDIO DEL CAMBIO TEMPORAL EN LA COBERTURA ESPACIAL DE LOS HUMEDALES

En este capítulo se cuantifican los cambios que presentan los humedales (presencia de vegetación y tamaño de los cuerpos de agua) a partir de técnicas de teledetección (interpretación de imágenes satelitales multiespectrales). El análisis se focaliza en los sectores del Salar de Maricunga, laguna Santa Rosa, el corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda, laguna del Negro Francisco y laguna Verde.

2.3.1 Objetivos

Objetivo general

Cuantificar los cambios temporales en la cobertura superficial de los cuerpos de agua y vegetación en el área de estudio.

Objetivos específicos

1. Recopilar imágenes multiespectrales de los sensores Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+ en el área de estudio.
2. Estimar las coberturas de los cuerpos de agua y vegetación mediante la aplicación de índices de vegetación y agua, complementando aquello con una inspección visual o fotointerpretación.
3. Correlacionar las coberturas de los cuerpos de agua con datos meteorológicos así como también con el inicio de actividades de extracción de recursos hídricos.

2.3.2 Metodología

Recopilación de las imágenes multiespectrales de los sensores Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+

Como marco de referencia se definió analizar las temporadas de invierno y verano para cada año, que corresponden a las temporadas donde se concentra la precipitación dentro de este sistema en particular. Para tales efectos se descargó el mayor número de imágenes multiespectrales disponibles desde mediados de 1985 a julio del año 2012 considerando un criterio de cobertura de nubes menor al 20%. La descarga de tales imágenes se realizó desde la página <http://glovis.usgs.gov/> y en su mayoría pertenecen al sensor Landsat 5 TM que estuvo en funcionamiento desde marzo de 1985 a noviembre del año 2011. Para complementar la serie de datos se descargaron adicionalmente imágenes del sensor Landsat 7 ETM+ desde diciembre del año 2011 a julio del año 2012. Cabe señalar que desde junio del 2003 las imágenes Landsat 7 ETM+ presentan problemas en uno de sus sensores y en las imágenes resultantes se observan franjas de datos inválidos (gaps) por lo que requieren un tratamiento especial para rellenar estos vacíos de información. En la Tabla 2.39 se observa el set de imágenes que a la fecha se encuentran analizados.

Tabla 2.39 Tabla resumen con las imágenes multiespectrales descargadas y analizadas a la fecha.

Fecha	Nombre Archivo	Sensor
1985 mayo	LT5233079008513750	Landsat 5 TM
1986 enero	LT52330791986012AAA05	Landsat 5 TM
1986 abril	LM52330791986092AAA03	Landsat 5 TM
1987 enero	LT52330791987015XXX09	Landsat 5 TM
1987 (invierno)	S/I	S/I
1988 enero	LT52330791988002CUB00	Landsat 5 TM
1988 julio	LT52330791988210CUB00	Landsat 5 TM
1989 enero	LT52330791989020CUB00	Landsat 5 TM
1989 mayo	LT52330791989132CUB00	Landsat 5 TM
1990 febrero	LT52330791990055CUB00	Landsat 5 TM
1990 julio	LT52330791990183CUB00	Landsat 5 TM
1991_enero	LT52330791991010CUB00	Landsat 5 TM
1991 junio	LT52330791991154CUB00	Landsat 5 TM
1992 febrero	LT52330791992045CUB00	Landsat 5 TM
1992 abril	LT52330791992109CUB00	Landsat 5 TM
1993 enero	LT52330791993015CUB00	Landsat 5 TM
1993 mayo	LT52330791993127CUB00	Landsat 5 TM
1994 enero	LT52330791994002CUB00	Landsat 5 TM
1994 mayo	LT52330791994146CUB00	Landsat 5 TM
1995 enero	LT52330791995005CUB00	Landsat 5 TM
1995 mayo	LT52330791995133CUB00	Landsat 5 TM
1996 enero	LT52330791996024CUB00	Landsat 5 TM
1996 mayo	LT52330791996136CUB01	Landsat 5 TM
1997 enero	LT52330791997010CUB00	Landsat 5 TM
1997 noviembre	LT52330791997314CUB00	Landsat 5 TM
1998 febrero	LT52330791998045COA00	Landsat 5 TM
1998 mayo	LT52330791998141COA00	Landsat 5 TM
1999 enero	LT52330791999016COA00	Landsat 5 TM
1999 junio	LT52330791999160COA01	Landsat 5 TM
2000 enero	LT52330792000003CUB00	Landsat 5 TM
2000 mayo	LE72330792000123EDC00	Landsat 7 ETM+ (SCL-on)
2001 enero	LT52330792001005COA01	Landsat 5 TM
2001 mayo	LT52330792001149CUB00	Landsat 5 TM
2002 enero	LT52330792002024CUB00	Landsat 7 ETM+ (SCL-on)
2002 mayo	LE72330792002304EDC00	Landsat 7 ETM+ (SCL-on)



Fecha	Nombre Archivo	Sensor
2003 enero	LE72330792003019COA00	Landsat 7 ETM+ (SCL-on)
2003 mayo	LE72330792003131EDC00	Landsat 7 ETM+ (SCL-on)
2004 enero	LT52330792004014COA00	Landsat 5 TM
2004 junio	LT52330792004158COA01	Landsat 5 TM
2005 enero	LT52330792005016CUB00	Landsat 5 TM
2005 junio	LT52330792005160COA00	Landsat 5 TM
2006 febrero	LT52330792006035COA00	Landsat 5 TM
2006 julio	LT52330792006195COA00	Landsat 5 TM
2007 enero	LT52330792007006COA00	Landsat 5 TM
2007 abril	LT52330792007102COA00	Landsat 5 TM
2008 febrero	LT52330792008041CUB01	Landsat 5 TM
2008 marzo	LT52330792008089CUB00	Landsat 5 TM
2009 enero	LT52330792009011COA01	Landsat 5 TM
2009 junio	LT52330792009155COA01	Landsat 5 TM
2009 diciembre	LT52330792009347CUB00	Landsat 5 TM
2010 agosto	LT52330792010238CUB00	Landsat 5 TM
2011 enero - 2010 diciembre	LE72330792011009EDC00; LE72330792010358EDC00	Landsat 7 ETM+ ((SCL-off))
2011 mayo - 2011 abril	LE72330792011121ASN00; LE72330792011105EDC00	Landsat 7 ETM+ ((SCL-off))
2012 febrero - 2012 enero	LE72330792012060EDC00; LE72330792012012EDC00	Landsat 7 ETM+ ((SCL-off))
2012 abril - 2012 mayo - 2012 junio	LE72330792012092CUB03; LE72330792012124CUB00; LE72330792012156CUB00	Landsat 7 ETM+ ((SCL-off))

Fuente: Elaboración propia, descarga de archivos desde la página <http://glovis.usgs.gov/>

La ventaja de trabajar con imágenes Landsat es que posee una serie de datos (imágenes) extensa y completa, siendo un satélite de mediana resolución ampliamente utilizado en investigaciones medioambientales. Las características propias del satélite Landsat 5 TM (TM: Thematic Mapper) es que es un sensor que orbita la tierra desde mediados de los ochenta, con 7 bandas espectrales con una resolución (tamaño del pixel) de 30x30 metros todas las bandas, a excepción de la banda 6 (banda termal) que posee un tamaño de pixel de 120x120 metros. La diferencia con las imágenes Landsat 7 ETM+ (ETM+: Enhanced Thematic Plus) radica en que este último fue lanzado en julio del año 1999 y posee 8 bandas espectrales con una resolución de 30x30 metros a excepción de la banda termal (banda 6) que posee una resolución de 60x60 metros y de la banda 8 (banda pancromática) con un tamaño de pixel de 15x15 metros. Otra de las ventajas de estas imágenes satélites es que se encuentran liberadas al público, sin costos y descargables vía internet desde la pagina del servicio geológico de Estados Unidos. Para mayores detalles de los sensores anteriormente descritos, se sugiere visitar la página http://landsat.usgs.gov/Satellite_and_Sensor_Information.php que contiene toda la información técnica de dichas imágenes.

El Método de corrección de la imágenes Landsat 7 ETM+ *Scan Line Corrector (SLC-off)* es el recomendado por la USGS (United State Geological Service, para detalles revisar

http://landsat.usgs.gov/sci_an.php) que en resumen plantea la realización de un mosaico entre imágenes “similares”. Dentro de los requisitos básicos para realizar el mosaico, se requiere que ambas imágenes (original y de relleno) tengan el mismo número de filas y columnas, una cobertura de nubes escasa o nula y sin sombras por parte de la imagen de apoyo en las zonas donde se va a realizar el relleno de datos, además se requiere co-registrar geométricamente ambas imágenes y que las fechas de captura de estas últimas sean cercanas entre sí, además comprobar que la respuesta espectral sea concordante entre las imágenes a utilizar; con el cumplimiento de estos requerimientos básicos el mosaico generado crea una nueva imagen sin gaps o espacios vacíos. Como complemento de esta metodología, se analizan 8 puntos de control al azar (dentro del área de estudio) donde se comparan las respuestas espectrales en ambas imágenes, comprobando que no posean una diferencia mayor al 10% dentro de la respuesta espectral de ambas imágenes, con lo que se aceptan como datos válidos de relleno los utilizados en el mosaico generado.

Posteriormente se procede a realizar una corrección radiométrica estándar a las imágenes Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+ a través del módulo de corrección radiométrica del software ENVI 4.7 obteniendo así valores de reflectancia en la imagen. Cabe señalar que las imágenes multiespectrales utilizadas poseen una georeferenciación de origen, pero en algunos casos se observan pequeñas diferencias horizontales entre una y otra imagen, por lo que se optó por co-registrar todas las imágenes utilizadas en base a una misma imagen, que para este caso es la imagen multiespectral de enero del año 2010.

Estimación las coberturas de los cuerpos de agua y vegetación mediante la aplicación de índices de vegetación y agua.

Una vez realizada la corrección radiométrica y co-registradas las imágenes, se procede al cálculo de los índices NDWI (Normalized Difference Water Index o Índice Diferencial de Agua Normalizado) y NDVI (Normalized Difference Vegetation Index o Índice de Vegetación Diferencial Normalizado) para la estimación de la cobertura del cuerpo de agua y vegetación respectivamente.

El Índice NDWI se utiliza para determinar los límites superficiales de los cuerpos de agua (Gao, 1995; McFeeters, 1996), la ventaja de la utilización de este índice radica en el análisis de las características espectrales del agua la cual presenta una alta reflectividad en el rango espectral del verde (V) y una baja reflectividad en el infrarrojo cercano (IRC) del espectro electromagnético. Las imágenes generadas con este índice tienden a destacar los cuerpos de agua, diferenciándose de las áreas de suelos secos o con vegetación. Los valores del índice varían entre -1 y 1, asociando los valores positivos a las superficies con agua superficial o suelos húmedos y cero o negativo para las superficies que comprenden el suelo y/o la vegetación terrestre. En el caso de zonas áridas, el contraste de las coberturas del suelo tiende a mostrar delimitaciones marcadas en relación a los bordes de los cuerpos de agua superficiales. La fórmula a aplicar para obtener este índice es la siguiente:

$$NDWI = \frac{\rho_i V - \rho_i IRC}{\rho_i V + \rho_i IRC}$$

Los valores del índice NDWI utilizados para discriminar la superficie de los cuerpos de agua va de 0.15 a 0.3 dependiendo del año, la temporada y la nubosidad presente en cada imagen. Una vez estimado este índice de referencia se procede a fotointerpretar los cuerpos de agua en el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis 9.3 con una la



imagen correspondiente de fondo y una combinación visual de las bandas en falso color de orden 4-3-2 que tienden a resaltar los cuerpos de agua en tonos azules a negro y la vegetación en tonos rojos (Fernandez y Herrero, 2003). Para lograr comparar los resultados de la estimación de los cuerpos de agua, se procede a delimitar los cuerpos en base a subáreas de análisis las que se detallan en la Figura 2.51.

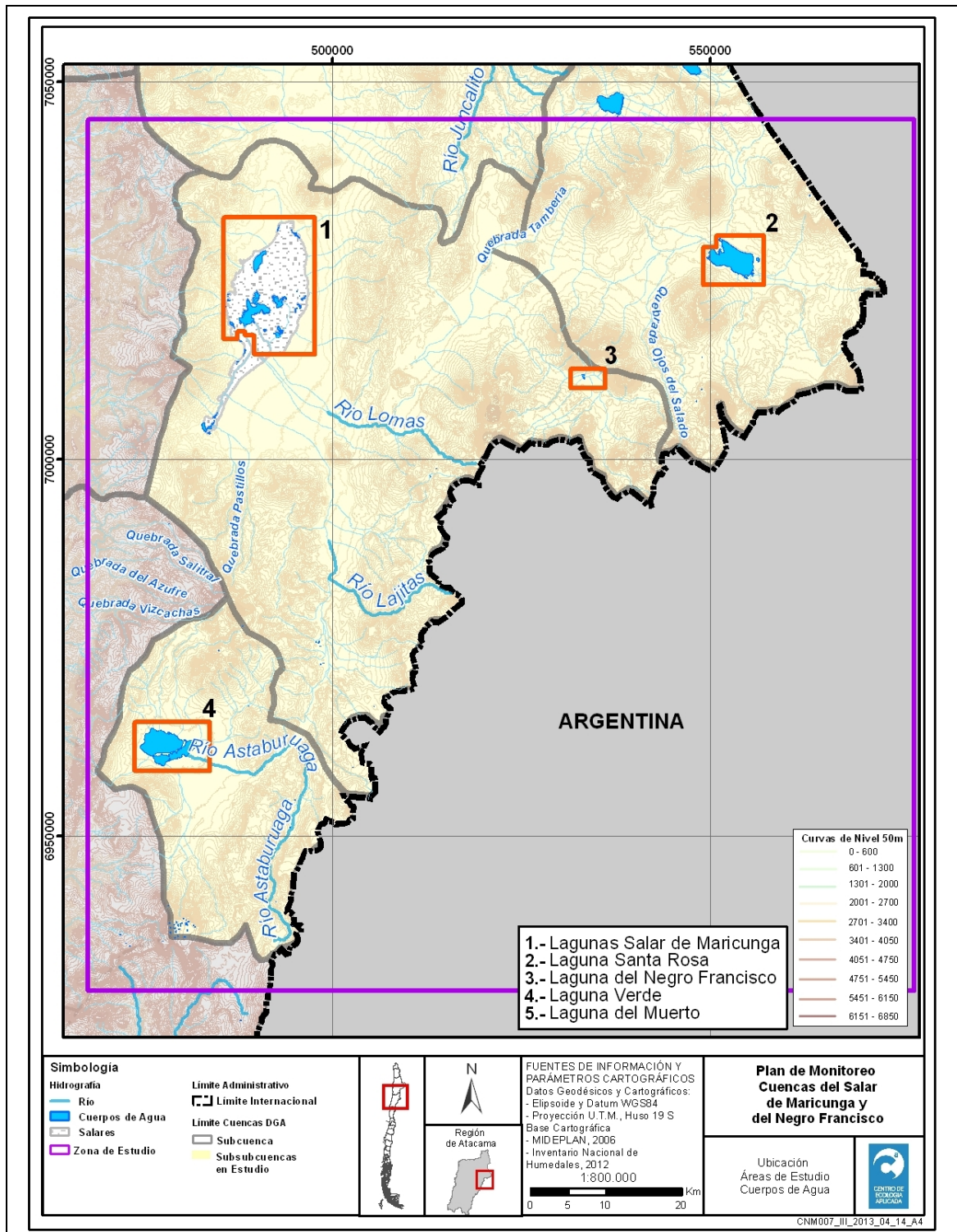


Figura 2.51 Ubicación subáreas de estudio de los cuerpos de agua

Una vez efectuadas las estimaciones del cuerpo de agua, se procede a elaborar una tabla de datos resumen con las superficies anteriormente mencionadas, generando como producto gráficos de evolución de las coberturas del cuerpo de agua.

El índice NDVI es típicamente utilizado para estimar (1) la cobertura de la vegetación, (2) crecimiento de las plantas (vigor) y (3) producción de Biomasa o en otras palabras estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, por tanto este índice expresa la actividad fotosintética en la planta, donde al combinar las bandas del infrarojo cercano (*IRC*) y la banda del infrarojo (*R*) del espectro electromagnético, se establece una relación que varía entre valores -1 y 1, donde típicamente los valores negativos expresan una actividad fotosintética mínima (nula captura de energía luminosa) y los valores positivos una actividad fotosintética máxima (total utilización de la energía luminosa disponible) en la planta. La fórmula que sintetiza lo anterior es la siguiente:

$$NDVI = \frac{\rho_i IRC - \rho_i R}{\rho_i IRC + \rho_i R}$$

Los valores del índice NDVI utilizados van desde 0.05 a 0.15 (como valores basales) hasta 1, cabe señalar que los valores de entrada (o basales) son diferentes para cada imagen pues la fecha, estacionalidad, ángulo de captura e influencia atmosférica hacen que cada imagen tenga una característica particular.

Para lograr hacer comparables los resultados de la estimación de la vegetación en cada imagen, primero se delimita un área de trabajo general denominada Área de Contacto Roca-Relleno la que se define como el área de depositación de los cursos fluviales y las laderas adyacentes (conos de deyección y/o áreas de depositación de las zonas activas de las laderas) donde se asume un desarrollo teórico de la vegetación, descartando así áreas que puedan entregar valores con falsos positivos en relación a la respuesta del índice NDVI como comúnmente lo son las laderas cubiertas por sombras, roca desnuda en tonos oscuros u otros. Para la delimitación del área de contacto Roca-Relleno, se utiliza un Modelo Digital de Terreno (MDT) derivado del modelo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, administrado por la NASA) que posee una resolución espacial de 90x90 metros y se ajusta a las características de resolución de las imágenes Landsat utilizadas en el presente informe, el modelo SRTM proviene de un radar instalado en el transbordador espacial Endeavour que cumplió una misión de 11 días en febrero del año 2000 y que hoy por hoy presenta su información liberada al público en la siguiente dirección electrónica: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>, con un error altimétrico de 4 a 9 metros. Una vez descargado el Modelo Digital de Terreno (MDT), se procede a generar curvas de nivel cada 25 metros ayudados por el software ArcGis 9.3 y perfiles topográficos que ayudan a analizar la morfología y las pendientes del sector, delimitando así las áreas de laderas rocosas, con las zonas de depositación y fondo de valle. Una vez delimitada el Área de contacto Roca-Relleno, se procede a subdividir esta área de trabajo de acuerdo a los límites de los sitios Ramsar y los Parques nacionales presentes, como se observa en la siguiente figura.

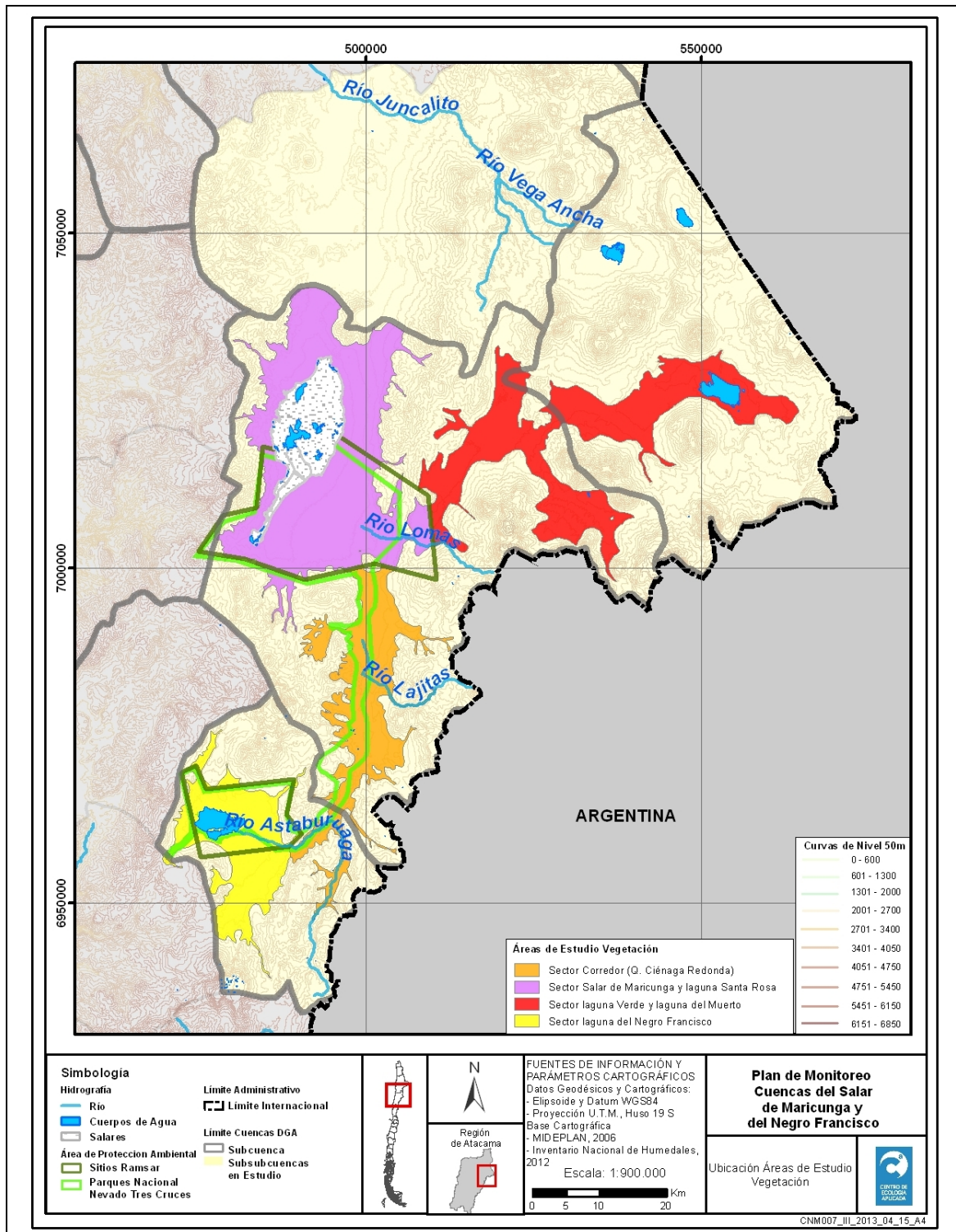


Figura 2.52 Ubicación Áreas de estudio de la Vegetación



Una vez efectuadas las estimaciones de cobertura de vegetación, se procede a elaborar una tabla de datos resumen con las superficies anteriormente mencionadas, generando como producto final gráficos de evolución de la cobertura vegetal.

Posteriormente a la estimación de la vegetación por sector de estudio, se procede a un análisis de recurrencia de la vegetación mediante un método comparativo de coberturas vegetacionales, el cual tiene como finalidad comparar la vegetación estable en el sistema (descartando toda aquella vegetación esporádica de temporada o que no logra un desarrollo en el tiempo), para ello se sintetizan las capas de información referentes a las coberturas vegetacionales ordenadas por décadas (1985-1995; 1992-2002; 2002-2012) en un Sistema de Información Geográfico en formato vectorial, se cruzan y se calculan las áreas donde hay un mayor número de coberturas traslapadas por década. Se considerará como una superficie vegetal estable toda aquella que presente una recurrencia igual o mayor al 50% de las imágenes (coberturas) por décadas analizadas.

Correlación de las coberturas de los cuerpos de agua y vegetación con la precipitación media presente en el área de estudio, así como también con el inicio de actividades de extracción de los recursos hídricos.

Una vez culminado el proceso de estimación del tamaño de los cuerpos de agua y la cobertura de vegetación, se procede a correlacionar estos datos con la información histórica recopilada de la precipitación media mensual disponible en el área de estudio teniendo en cuenta además las fechas de inicio de extracción del recurso agua de las actividades extractivas presentes en el sector (minería principalmente), dilucidando a grosso modo una potencial influencia de la actividades anteriormente mencionadas en la disponibilidad del recurso agua.

2.3.3 Resultados

Los resultados del análisis de las imágenes multiespectrales Landsat es el siguiente:

Estimación de la superficie de los cuerpos de agua.

En la Tabla 2.40 se presenta un resumen con las superficies de los cuerpos de agua estimadas desde mayo de 1985 a mayo del año 2012.

Tabla 2.40. Resumen Estimación del tamaño de los cuerpos de agua

Fecha captura imagen Landsat	Temporada	Laguna del Negro Francisco (ha)	Salar de Maricunga (ha)	Laguna Verde (ha)	Laguna Santa Rosa (ha)	Laguna del Muerto (ha)	Otros cuerpos de agua (ha)	TOTAL (ha)
17-05-1985	invierno	1847,2	1308,2	1588,6	76,1			4820,1
12-01-1986	verano	1826,7	374,1	1601,5	62,8	3,6	1,3	3869,9
02-04-1986	invierno	1733,4	612,8	1576,2	65,4		1,3	3989,1
15-01-1987	verano	1772,9	379,5	1589,4	56,5	7,2	3,2	3808,7
01-04-1987 (*1)	invierno							
02-01-1988	verano	2127,1	592,5	1619,1	58,1	326,8	242,9	4966,5
28-07-1988	invierno	2179,9	2074,6	1642,3	145,3	179,0	116,2	6337,3
20-01-1989	verano	2112,7	547,6	1616,4	59,4	2,6	17,2	4355,8
12-05-1989	invierno	2045,4	1624,2	1626,5	110,8		9,7	5416,6
24-02-1990	verano	2088,3	489,0	1610,9	62,5	2,3	2,5	4255,4
02-07-1990	invierno	2104,7	2243,2	1646,1	178,4			6172,5
10-01-1991	verano	1969,0	1916,6	1598,3	112,0	2,2	1,1	5599,3
03-06-1991	invierno	1957,7	1863,3	1589,9	105,8	3,0	1,4	5521,1
14-02-1992	verano	1952,3	374,9	1595,3	63,9	2,6	0,4	3989,4
18-04-1992	invierno	1932,5	1686,4	1570,9	80,0			5269,7
15-01-1993	verano	1950,0	462,1	1605,1	71,2	32,9	4,0	4125,3
07-05-1993	invierno	1940,6	1322,1	1582,8	83,5	3,4	2,2	4934,6
02-01-1994	verano	1939,1	385,5	1581,8	66,3	2,1		3974,8
26-05-1994	invierno	1935,6	1483,1	1590,1	82,7			5091,4
05-01-1995	verano	1901,4	323,2	1563,3	60,8			3848,7
13-05-1995	invierno	1805,6	1599,1	1521,2	84,4			5010,3
24-01-1996	verano	1844,9	390,5	1569,7	69,2	3,3	0,7	3878,4
15-05-1996	invierno	1643,7	1310,1	1529,2	81,4			4564,4
10-01-1997	verano	1755,4	374,7	1550,1	64,8	5,3		3750,3



Fecha captura imagen Landsat	Temporada	Laguna del Negro Francisco (ha)	Salar de Maricunga (ha)	Laguna Verde (ha)	Laguna Santa Rosa (ha)	Laguna del Muerto (ha)	Otros cuerpos de agua (ha)	TOTAL (ha)
01-11-1997(*2)	primavera	1929,6	1110,8	1586,4	75,3			4702,2
14-02-1998	verano	1947,8	1189,7	1571,3	64,0	274,0	64,1	5110,9
21-05-1998	invierno	1953,6	1047,6	1590,8	83,1	125,1	55,9	4856,1
16-01-1999	verano	1922,7	372,9	1551,1	60,9	10,4	22,5	3940,5
09-06-1999	invierno	1916,2	1477,7	1575,7	107,7	2,4	6,1	5085,8
03-01-2000	verano	1917,3	386,4	1538,9	61,0	34,9	12,9	3951,4
26-05-2000	invierno	1883,3	1265,4	1523,7	64,6	2,1		4739,2
05-01-2001	verano	1883,4	402,8	1522,8	61,6	4,0	1,8	3876,4
29-06-2001	invierno	1867,2	1544,6	1565,1	111,8		2,5	5091,1
24-01-2002	verano	1843,9	359,9	1532,3	66,3	3,2	2,7	3808,2
31-10-2002 (*2)	primavera	1965,6	2777,6	1603,0	78,1	61,3	59,1	6544,7
19-01-2003	verano	1969,8	309,4	1575,5	62,0	134,5	46,1	4097,4
11-05-2003	invierno	1932,1	1225,8	1536,5	82,4	2,2	10,1	4789,2
14-01-2004	verano	1948,1	345,2	1566,3	69,0	8,3	5,1	3942,0
06-06-2004	invierno	1935,3	1238,7	1582,3	85,7			4842,0
16-01-2005	verano	1903,0	317,5	1536,4	61,1	6,5	4,0	3828,5
09-06-2005	invierno	1899,3	1901,5	1563,4	105,1			5469,3
01-02-2006	verano	1859,4	288,5	1529,7	58,9	3,2	6,2	3745,9
14-07-2006	invierno	1989,7	2138,3	1545,8	119,5			5793,4
06-01-2007	verano	1825,3	326,4	1508,9	61,4	3,3	0,8	3726,1
12-04-2007	invierno	1625,4	450,8	1500,5	66,1	1,3	0,4	3644,5
10-02-2008	verano	1915,5	377,7	1508,6	68,0	59,8	13,6	3943,0
29-03-2008	invierno	1910,9	456,4	1499,6	62,9	22,2	7,9	3960,0
11-01-2009	verano	1903,9	359,9	1513,2	67,4	2,4	1,0	3847,9
04-06-2009	invierno	1869,9	1524,7	1556,2	86,0	1,0		5037,8
13-12-2009	verano	1889,1	424,4	1507,6	68,5	2,6	0,6	3892,9



Fecha captura imagen Landsat	Temporada	Laguna del Negro Francisco (ha)	Salar de Maricunga (ha)	Laguna Verde (ha)	Laguna Santa Rosa (ha)	Laguna del Muerto (ha)	Otros cuerpos de agua (ha)	TOTAL (ha)
26-08-2010	invierno	1980,6	1537,0	1521,8	135,4	0,5		5175,4
09-01-2011	verano	1782,6	470,1	1472,0	66,1	1,9		3792,7
01-05-2011	invierno	1676,5	1044,6	1466,4	66,8	1,9		4256,2
12-01-2012	verano	1827,0	373,3	1492,0	62,5	16,4	6,4	3777,7
03-05-2012	invierno	1789,0	467,7	1487,9	63,6	10,8	3,9	3822,9
Promedio de la serie completa		1904,2	949,1	1559,2	78,8	34,3	20,5	4530,4
Desv. estándar de la serie		110,6	656,9	43,0	24,7	73,6	45,3	758,2
Promedio invierno		1894,2	1377,9	1559,2	93,4	27,3	18,1	4947,6
Desv. estándar invierno		128,7	494,0	45,5	28,3	56,8	34,4	658,5
Promedio Verano		1910,3	478,3	1556,6	65,4	36,8	20,0	4063,1
Desv. estándar Verano		93,4	333,0	41,2	10,0	82,8	51,0	453,6

(*1) La imagen correspondiente a esta temporada presenta una alta cobertura de nubes y las siguientes imágenes (meses cercanos) no se encuentran disponibles, por lo que no se tienen datos de ese periodo.

(*2) La imagen correspondiente a esta temporada presenta una alta cobertura de nubes y/o nieve; para completar la serie se utiliza una imagen de otra temporada (primavera).

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la tabla anteriormente expuesta se distingue que los cuerpos de agua asociados al Salar de Maricunga y la laguna Santa Rosa son influenciados estacionalmente por aportes directos de precipitación y/o nieve, por lo que su cobertura varía en cada una de las estaciones analizadas (invierno y verano); además la laguna del Muerto y otros cuerpos de agua detectados solo en algunas imágenes es posible distinguirlos puesto a que comúnmente en la temporada de invierno se encuentran congelados o cubiertos por nieve y en las temporadas de verano ya se encuentran secos o en su mínima expresión. Los restantes cuerpos de agua analizados como lo son la laguna Verde y la laguna del negro Francisco donde se observa una estabilidad en el periodo estudiado. Para mayores detalles por temporada, se adjuntan en los anexos del presente informe las Figura 6.1 y Figura 6.2 donde se organizan los datos por estación del año (invierno y verano), representando la tendencia de la cobertura superficial de los cuerpos de agua analizadas por estación.

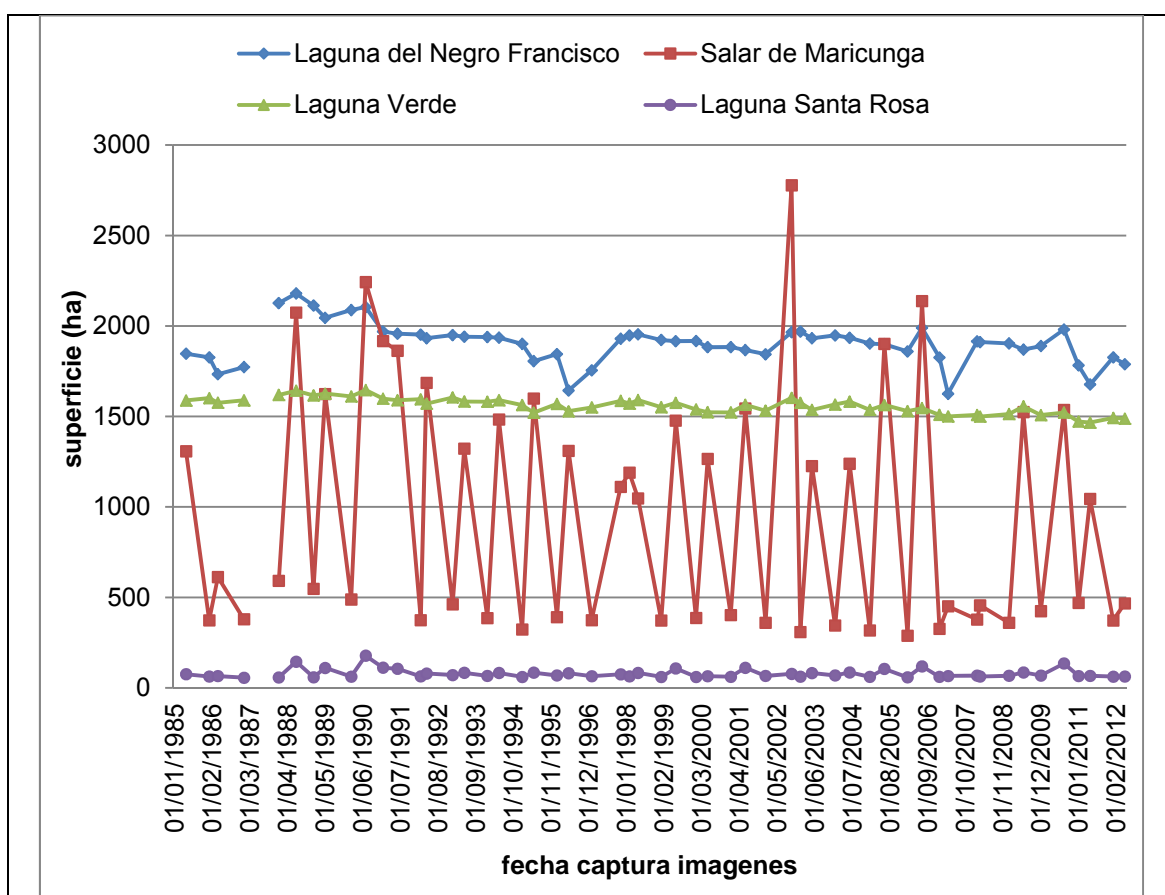


Figura 2.53 Superficie total de los cuerpos de agua.

Cabe señalar que de acuerdo al análisis de las coberturas superficiales de los cuerpos de agua del sector, no es posible afirmar que estos hayan disminuido o aumentado de modo considerable en el periodo estudiado, aunque se aprecian diferencias que apuntan a una leve disminución del tamaño de las lagunas en la última década, no es posible afirmar tajantemente esta aseveración pues un cambio en la cobertura superficial de los cuerpos de agua podría deberse a cambios dentro de lo esperado en el sistema y no necesariamente verse influenciados factores antrópicos u otros.

Cabe destacar que los cuerpos de agua analizados son en su mayoría sistemas someros donde se desarrollan microorganismos y/o microalgas tanto en superficie como en el fondo del mismo, por ende se debe tener en consideración que estos elementos podrían afectar la interpretación de los datos capturados por los sensores multiespectrales lo que hace más relevante aún realizar monitoreo y/o capturas de datos continuos en terreno.

Estimación de la cobertura de la vegetación.

Con los datos que proporciona la Tabla 2.41 Resumen estimación cobertura vegetal que se resumen en la Figura 2.54 se distingue que las estimaciones de cobertura vegetal están claramente influenciados por comportamientos estacionales que van de la mano con el desarrollo fenológico de las especies presentes en área de estudio donde se destaca la mayor actividad fotosintética de las plantas en la estación de verano y el posterior estado de latencia y mejor actividad fotosintética de la vegetación en la estación invernal. Cabe destacar que el dominio altimétrico donde se desarrolla este análisis se encuentra por sobre los 3500 m.s.n.m por tanto un área de montaña, por lo que son comunes los fenómenos meteorológicos de precipitación solida en el sector, por ende es común observar laderas y fondos de valle cubiertos de nieve que es donde se desarrolla la vegetación.

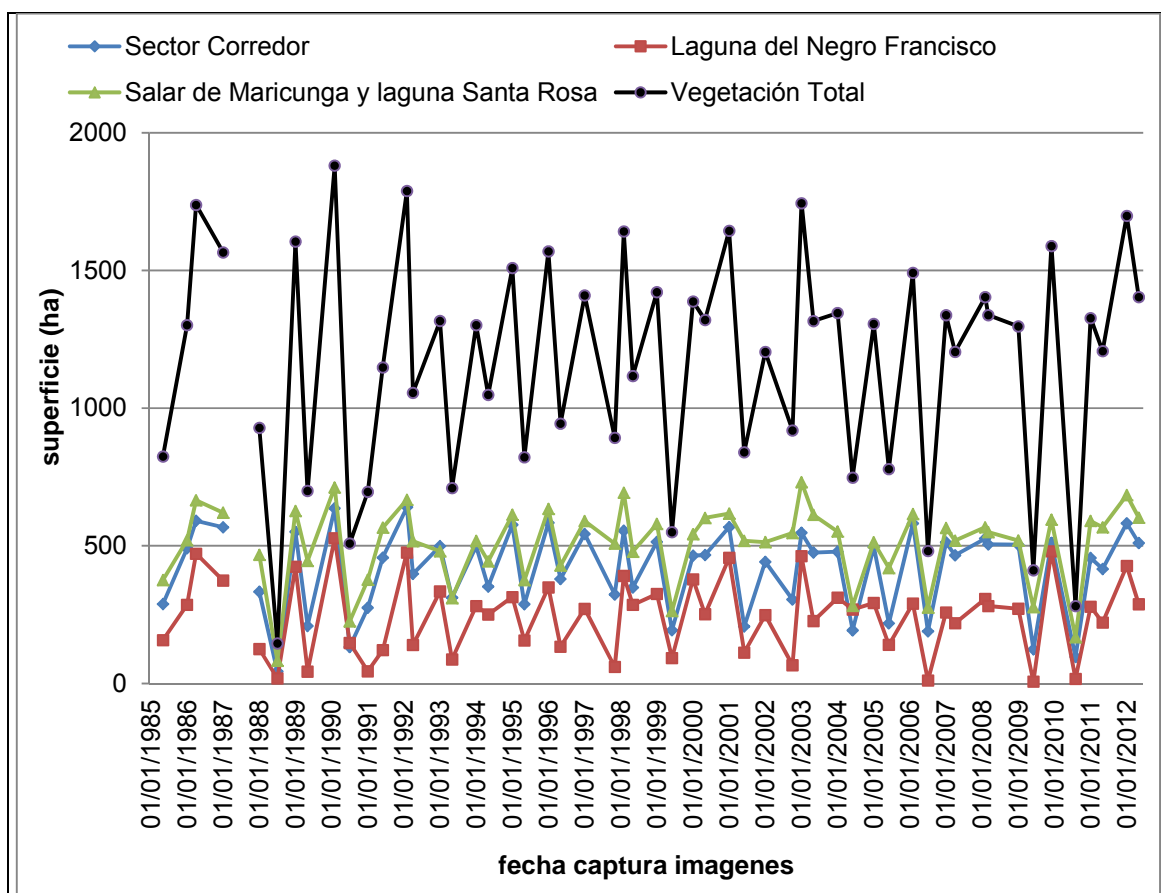


Figura 2.54 Cobertura vegetal por sector de estudio.



Cabe señalar que de acuerdo al análisis de las coberturas de vegetación, no es posible concluir que estas hayan disminuido o aumentado en el periodo estudiado o que producto de alguna actividad antrópica se hayan visto afectadas la flora del sector, al menos a nivel macro, pues no se observa una tendencia marcada que apunte aquello en cada sector analizado, sobre todo si se analiza serie de datos completa (ver Figura 2.52 Ubicación Áreas de estudio de la Vegetación). Ahora bien, se distinguen diferencias a micro escala, focalizados en áreas donde se desarrollan vegas y/o vegetación azonal las que se describirán más adelante.

Además, cabe mencionar que los datos de vegetación estimados con las imágenes Landsat 7 ETM+ presentan una leve diferencia en lo referente a la estimación total de la vegetación mediante la utilización del índice NDVI al compararlas con las imágenes Landsat 5 TM, lo que podría deberse por un lado al rellenado de datos (gaps) y por otro a la diferencia técnica intrínseca de los sensores de ambos satélites, lo que podría influir en las estimaciones de vegetación en la última década analizada.

Finalmente es relevante dejar de manifiesto que el trabajo con imágenes multiespectrales posee ciertas limitaciones propias de una herramienta que entrega datos discretos que permite efectuar cálculos o estimaciones puntuales que hacen referencia a la fecha de captura de la imagen y que por tanto no representan necesariamente el comportamiento general de una estación del año en su conjunto, aunque es una aproximación indirecta bastante confiable.

Tabla 2.41 Resumen estimación cobertura vegetal

Fecha captura Imagen Landsat	Temporada	Sector Corredor (ha)	Laguna del Negro Francisco (ha)	Salar de Maricunga y laguna Santa Rosa	Laguna Verde y laguna del Muerto	Vegetación Total (ha)
17-05-1985	invierno	288,4	157,4	375,6	2,8	824,2
12-01-1986	verano	490,6	285,6	520,1	5,2	1301,5
02-04-1986	invierno	590,7	470,9	665,1	11,2	1737,9
15-01-1987	verano	567,1	373,6	619,9	5,0	1565,6
01-04-1987	invierno (*1)					
02-01-1988	verano	333,1	125,1	467,2	3,0	928,4
28-07-1988	invierno	43,5	17,9	82,5	1,3	145,3
20-01-1989	verano	550,8	423,9	626,2	4,0	1605,0
12-05-1989	invierno	208,7	43,2	445,1	2,3	699,4
24-02-1990	verano	635,9	527,4	711,5	6,1	1881,0
02-07-1990	invierno	132,5	146,8	225,3	3,7	508,3
10-01-1991	verano	274,5	44,1	376,3	1,3	696,1
03-06-1991	invierno	456,9	120,7	565,7	4,1	1147,4
14-02-1992	verano	639,7	475,5	667,0	6,4	1788,7
18-04-1992	invierno	397,9	139,4	516,6	1,7	1055,5
15-01-1993	verano	498,6	334,4	480,0	3,6	1316,6
07-05-1993	invierno	311,4	87,3	310,0	0,6	709,4
02-01-1994	verano	498,3	281,2	518,0	3,6	1301,1
26-05-1994	invierno	351,6	250,3	443,3	2,9	1048,0
05-01-1995	verano	576,3	314,0	612,7	5,8	1508,8
13-05-1995	invierno	287,8	156,0	375,3	2,4	821,5
24-01-1996	verano	583,3	349,0	633,7	3,5	1569,4
15-05-1996	invierno	379,4	133,6	427,9	2,8	943,7
10-01-1997	verano	542,9	270,9	589,7	6,0	1409,5
01-11-1997	primavera (*2)	322,8	59,7	507,8	1,6	892,0



Fecha captura Imagen Landsat	Temporada	Sector Corredor (ha)	Laguna del Negro Francisco (ha)	Salar de Maricunga y laguna Santa Rosa	Laguna Verde y laguna del Muerto	Vegetación Total (ha)
14-02-1998	verano	554,3	390,8	692,6	4,1	1641,9
21-05-1998	invierno	348,2	285,3	478,3	4,5	1116,4
16-01-1999	verano	514,0	324,8	579,3	3,1	1421,2
09-06-1999	invierno	193,4	92,3	262,6	1,0	549,3
03-01-2000	verano	464,3	378,4	542,0	2,7	1387,4
26-05-2000	invierno	466,2	251,3	601,0	1,7	1320,2
05-01-2001	verano	567,7	456,0	617,0	3,5	1644,2
29-06-2001	invierno	206,7	112,2	518,1	2,4	839,4
24-01-2002	verano	441,5	248,0	513,2	1,6	1204,4
31-10-2002	primavera (*2)	304,5	66,3	546,2	1,5	918,5
19-01-2003	verano	547,0	462,2	730,8	4,0	1744,1
11-05-2003	invierno	475,3	226,8	612,1	2,1	1316,2
14-01-2004	verano	478,3	311,3	551,7	4,1	1345,4
06-06-2004	invierno	192,7	268,3	281,8	4,3	747,2
16-01-2005	verano	496,6	292,2	512,9	4,0	1305,7
09-06-2005	invierno	218,3	140,0	418,7	1,6	778,6
01-02-2006	verano	581,1	289,9	615,1	5,2	1491,3
14-07-2006	invierno	189,3	10,7	275,5	5,7	481,2
06-01-2007	verano	512,0	257,9	564,6	3,2	1337,6
12-04-2007	invierno	465,4	218,5	518,4	1,6	1204,0
10-02-2008	verano	526,0	307,1	567,2	2,7	1403,1
29-03-2008	invierno	504,9	281,0	549,6	2,2	1337,6
11-01-2009	verano	503,9	271,1	518,9	2,8	1296,7
04-06-2009	invierno	124,0	6,7	276,9	3,5	411,0
13-12-2009	verano	510,3	479,8	594,5	3,7	1588,3
26-08-2010	invierno	95,9	16,5	167,7	1,0	281,0



Fecha captura Imagen Landsat	Temporada	Sector Corredor (ha)	Laguna del Negro Francisco (ha)	Salar de Maricunga y laguna Santa Rosa	Laguna Verde y laguna del Muerto	Vegetación Total (ha)
09-01-2011	verano	455,7	278,8	590,0	2,6	1327,0
01-05-2011	invierno	415,6	220,8	567,2	3,2	1206,8
12-01-2012	verano	582,0	426,7	683,9	5,8	1698,4
03-05-2012	invierno	510,1	287,9	602,3	3,0	1403,2
Promedio de la serie completa		415,0	245,3	505,8	3,4	1169,5
Desv. Estándar de la serie completa		153,4	139,1	142,1	1,8	412,7
Promedio invierno		314,2	165,7	422,5	2,9	905,3
Desv. Estándar invierno		149,4	111,4	154,5	2,1	388,0
Promedio Verano		515,8	332,6	581,3	4,0	1433,6
Desv. Estándar Verano		79,2	106,7	80,6	1,4	251,6

(*1) La imagen correspondiente a esta temporada presenta una alta cobertura de nubes y las siguientes imágenes no se encuentran disponibles, por lo que no se tienen datos de ese periodo.

(*2) La imagen correspondiente a esta temporada presenta una alta cobertura de nubes y/o nieve; para completar la serie se utiliza una imagen de otra temporada (primavera).

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de Recurrencia de Vegetación por décadas y sectores de estudio.

1. Sector Corredor (quebrada Ciénaga Redonda)

Unidad vega Pantanillo: Es un área ubicada en la zona sur del sector estudiado, la cual presenta una apreciable disminución en la cobertura vegetal estable (porcentaje de recurrencia), lo que se observa en la Figura 2.55. Es posible observar la dirección de la disminución de la cobertura vegetal estable en las Figura 2.58 y Figura 2.59, donde se encuentra un pozo de extracción operativo en la actualidad (ver Tabla 2.16) cercano a la vega afectada:

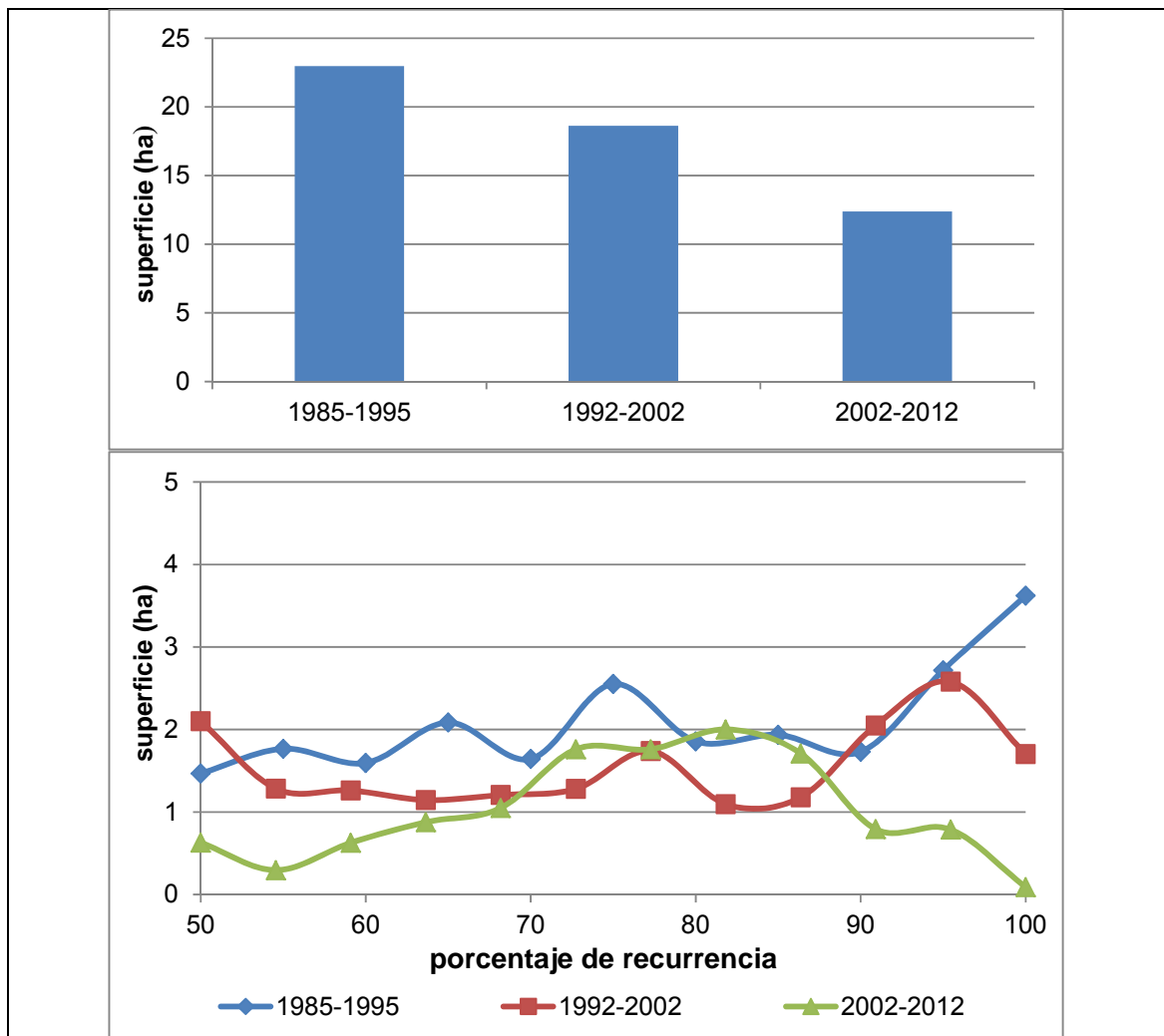


Figura 2.55. Superficie total de la vegetación con una recurrencia mayor o igual al 50% de las imágenes analizadas por décadas y Distribución de la recurrencia por décadas en la unidad vega Pantanillo.

- Unidad Quebrada Ciénaga Redonda: Es un área donde domina la vegetación Azonal que a diferencia de la unidad vega Pantanillo presenta un aumento identificable de la vegetación estable, como se observa en la Figura 2.56.

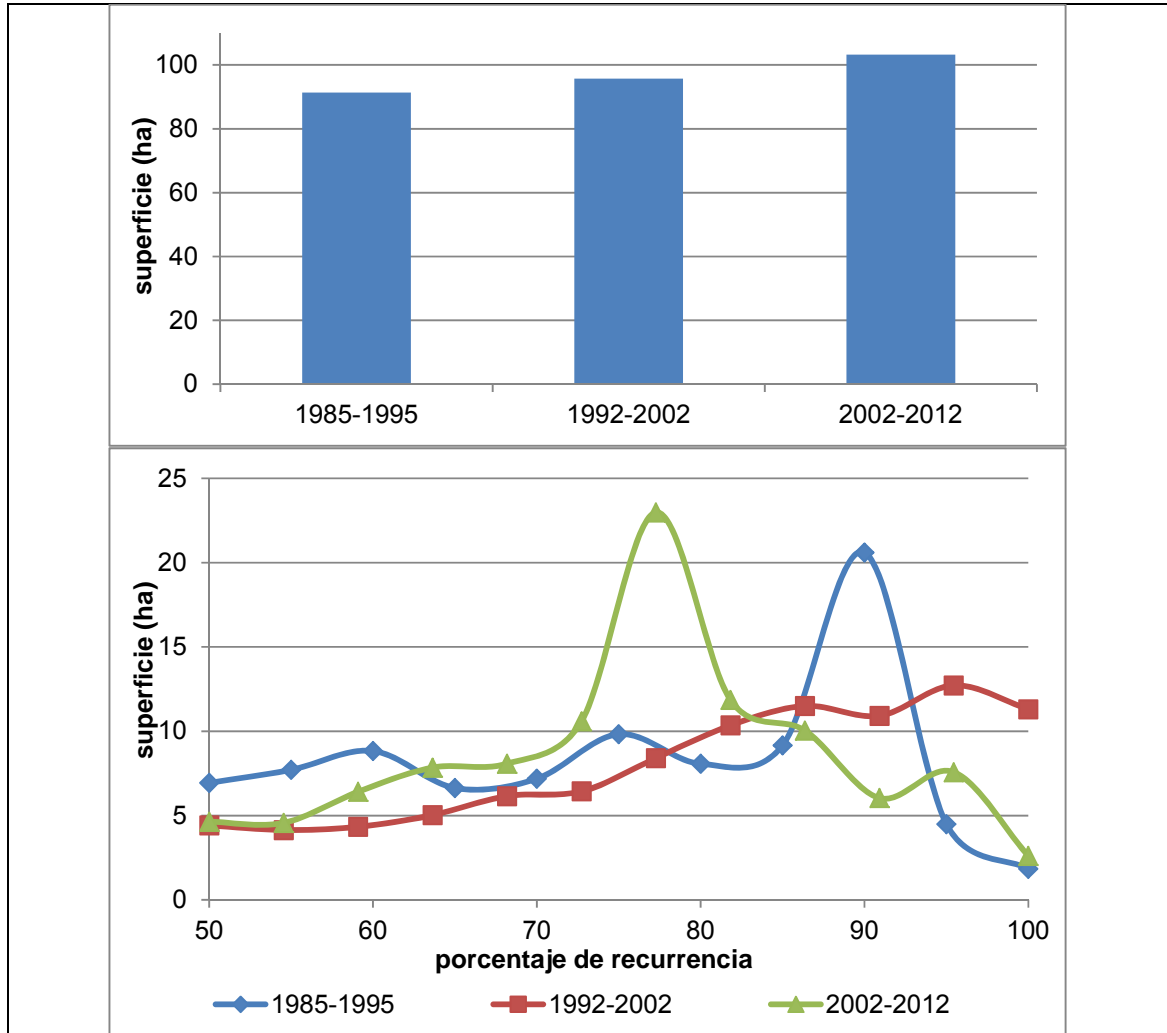


Figura 2.56. Superficie total de la vegetación con una recurrencia mayor o igual al 50% de las imágenes analizadas por décadas y Distribución de la recurrencia por décadas en la unidad vega Ciénaga Redonda.

- Otras unidades (vega Redonda, vega quebrada Villalobos, vega Pantanillo Ancho): vegas ubicadas en el centro norte del sector de estudio y tienen como característica principal poseer una cobertura estable en el tiempo que no permite concluir un aumento o disminución de la vegetación estable.

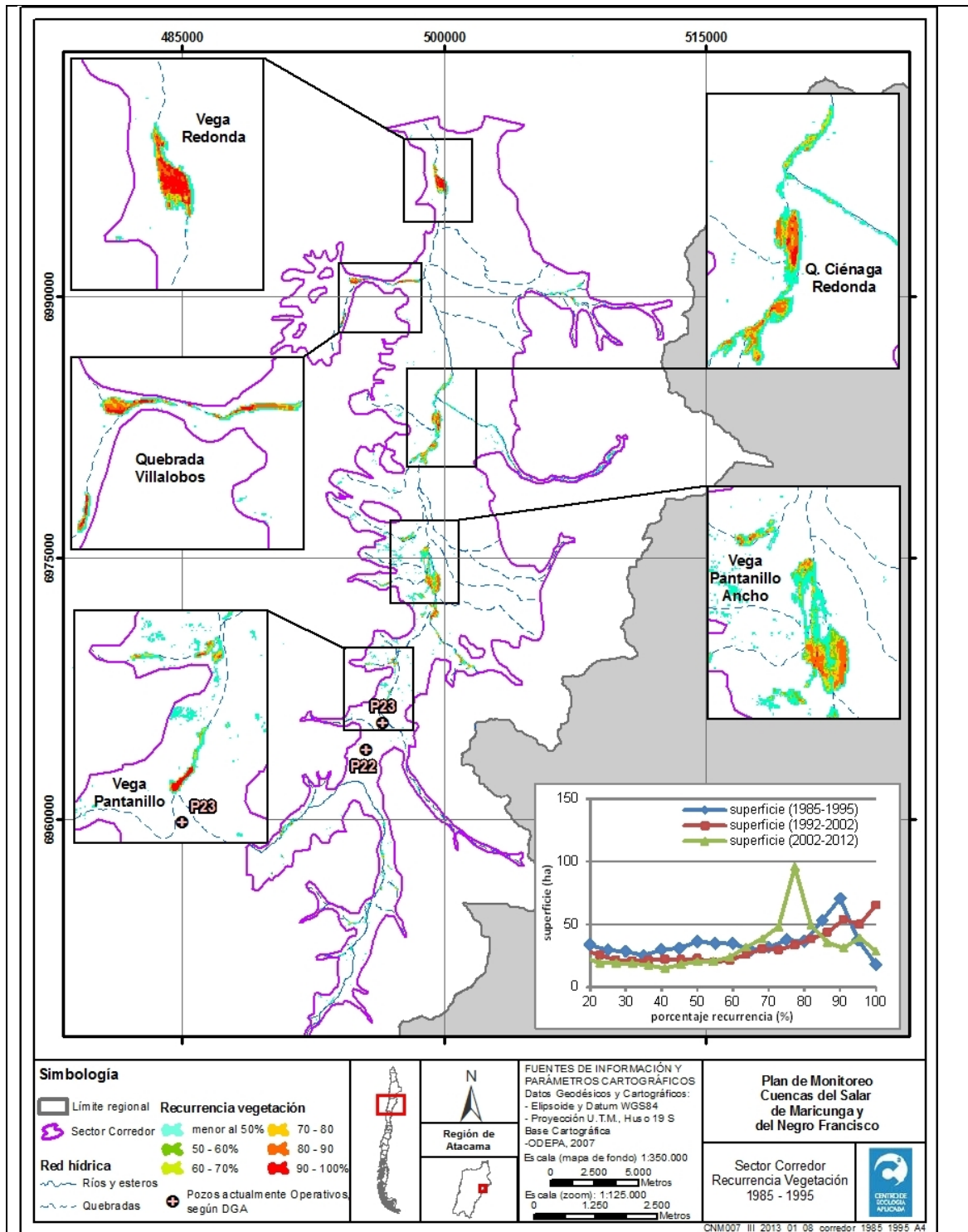


Figura 2.57. Recurrencia vegetacional Sector Corredor década 1985-1995. Se indican los pozos de extracción P23 y P22, cercanos a la vega Pantanillo.

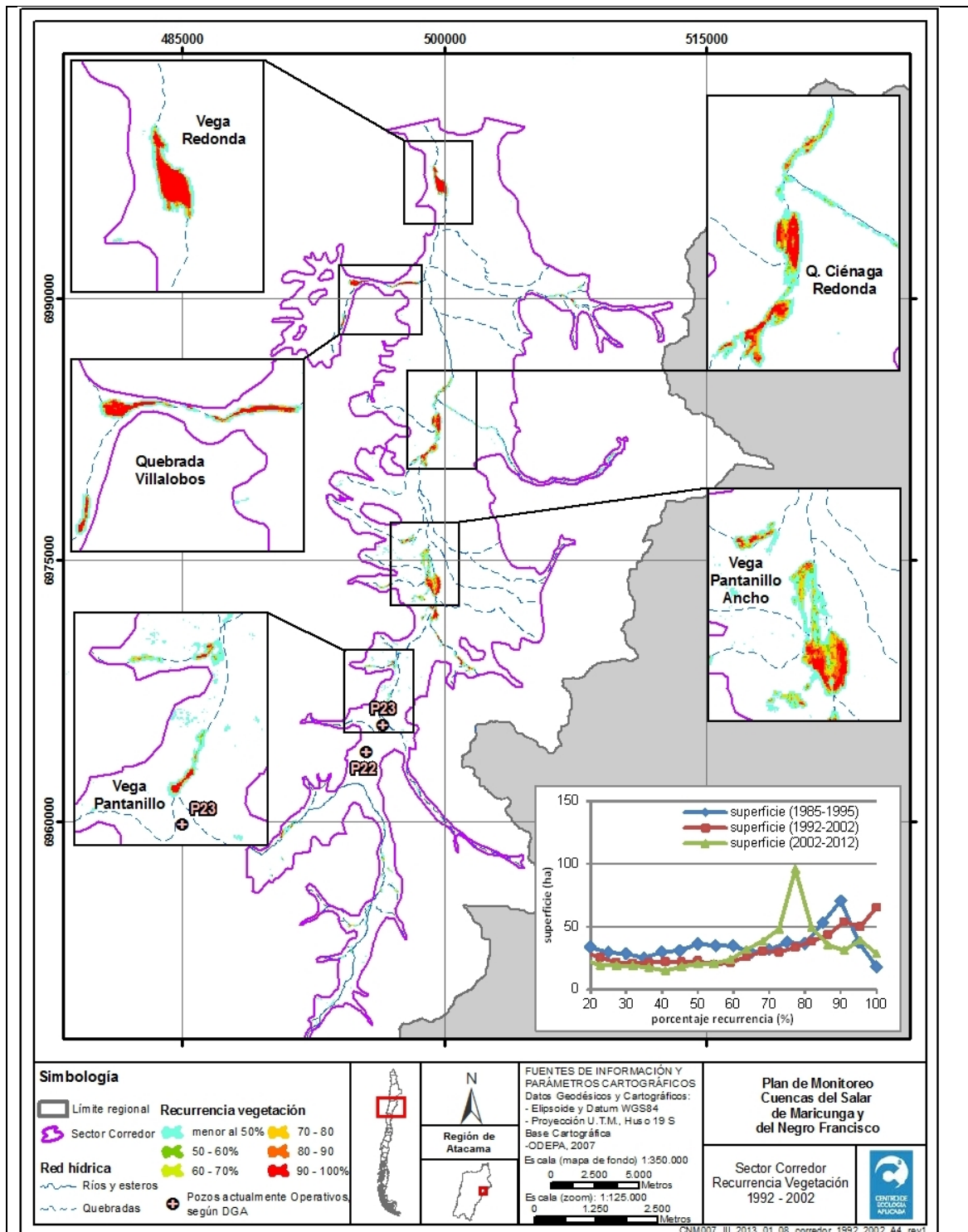


Figura 2.58. Recurrencia vegetal Sector Corredor década 1992-2002

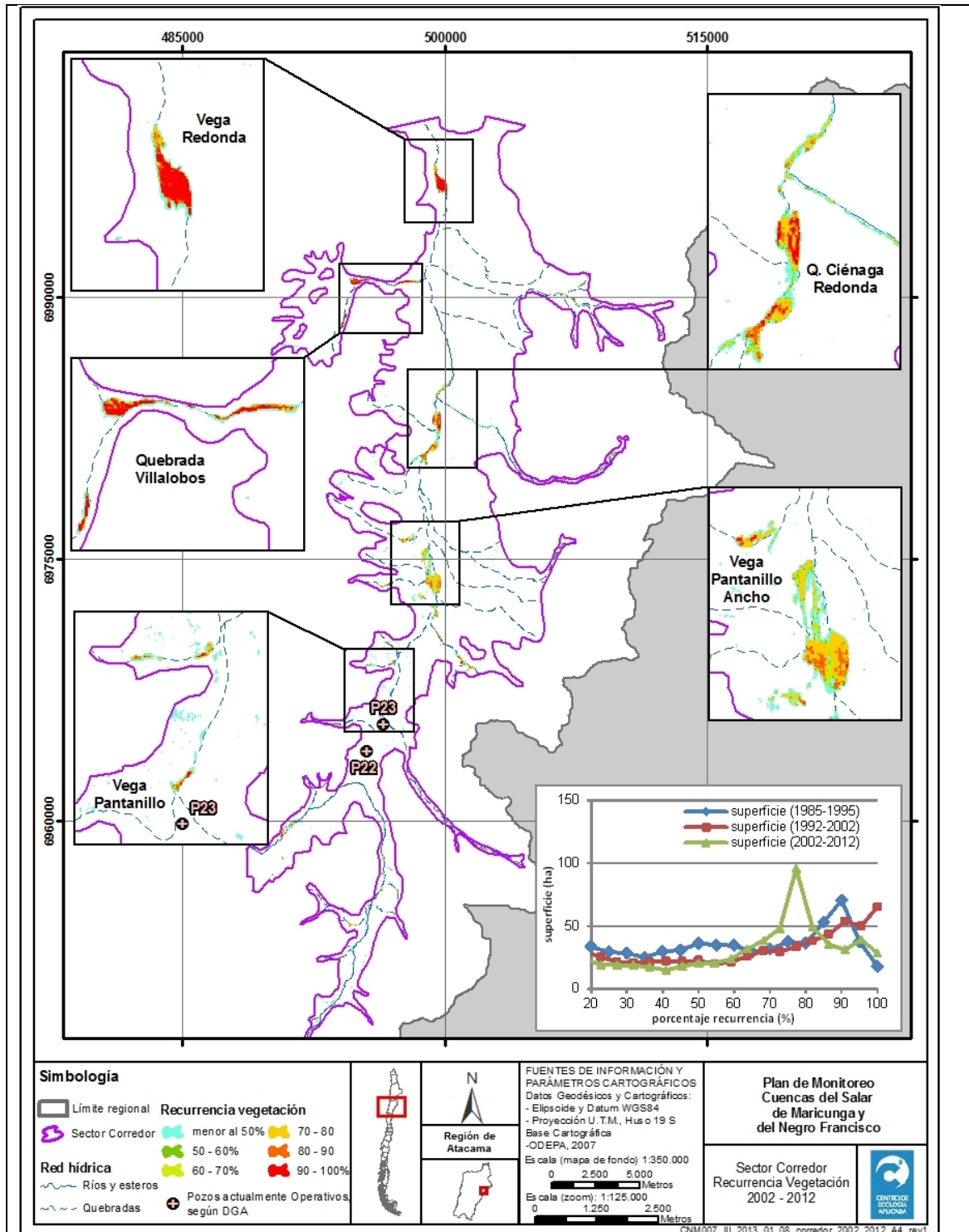


Figura 2.59. Recurrencia vegetal Sector Corredor década 2002-2012

2. Sector salar de Maricunga y laguna Santa Rosa

- Unidad salar de Maricunga (sur) y laguna Santa Rosa: Es el parche vegetacional más extenso de toda el área de estudio y se encuentra ubicado en la zona sur de las lagunas del salar de Maricunga donde se desarrollan parches de vegetación Azonal. De acuerdo al análisis de recurrencia la cobertura vegetacional presenta tendencias que apuntan a una estabilidad o un leve aumento de vegetación en las décadas analizadas, como se observa en la Figura 2.60. Cabe señalar que en esta unidad se encuentran dos pozos de extracción operativos de acuerdo a DGA como se observa en las Figura 2.61, Figura 2.62 y Figura 2.63 (ver Tabla 2.16).

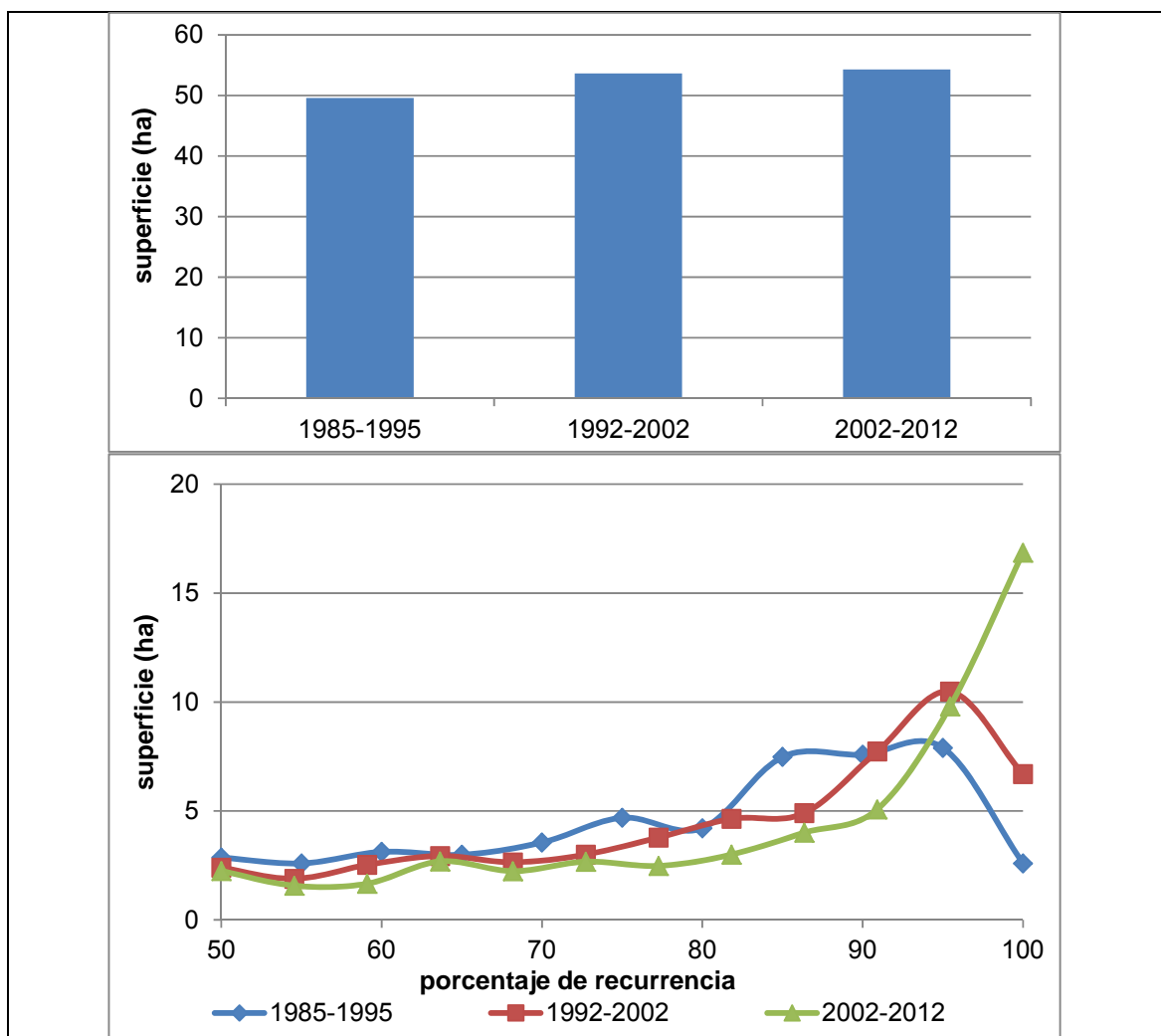


Figura 2.60. Superficie total de la vegetación con una recurrencia mayor o igual al 50% de las imágenes analizadas por décadas y Distribución de la recurrencia por décadas en la unidad salar de Maricunga (sur) y laguna Santa Rosa.



- Otras Unidades (salar de Maricunga norte, río Lamas, quebradas La Coipa y Pastillos) son pequeños parches vegetacionales ubicados en la periferia del sistema salar de Maricunga que no presentan indicios de aumento o disminución vegetacional en base al análisis de la recurrencia vegetacional por década, como se observa en las Figura 2.61, Figura 2.62 y Figura 2.63.

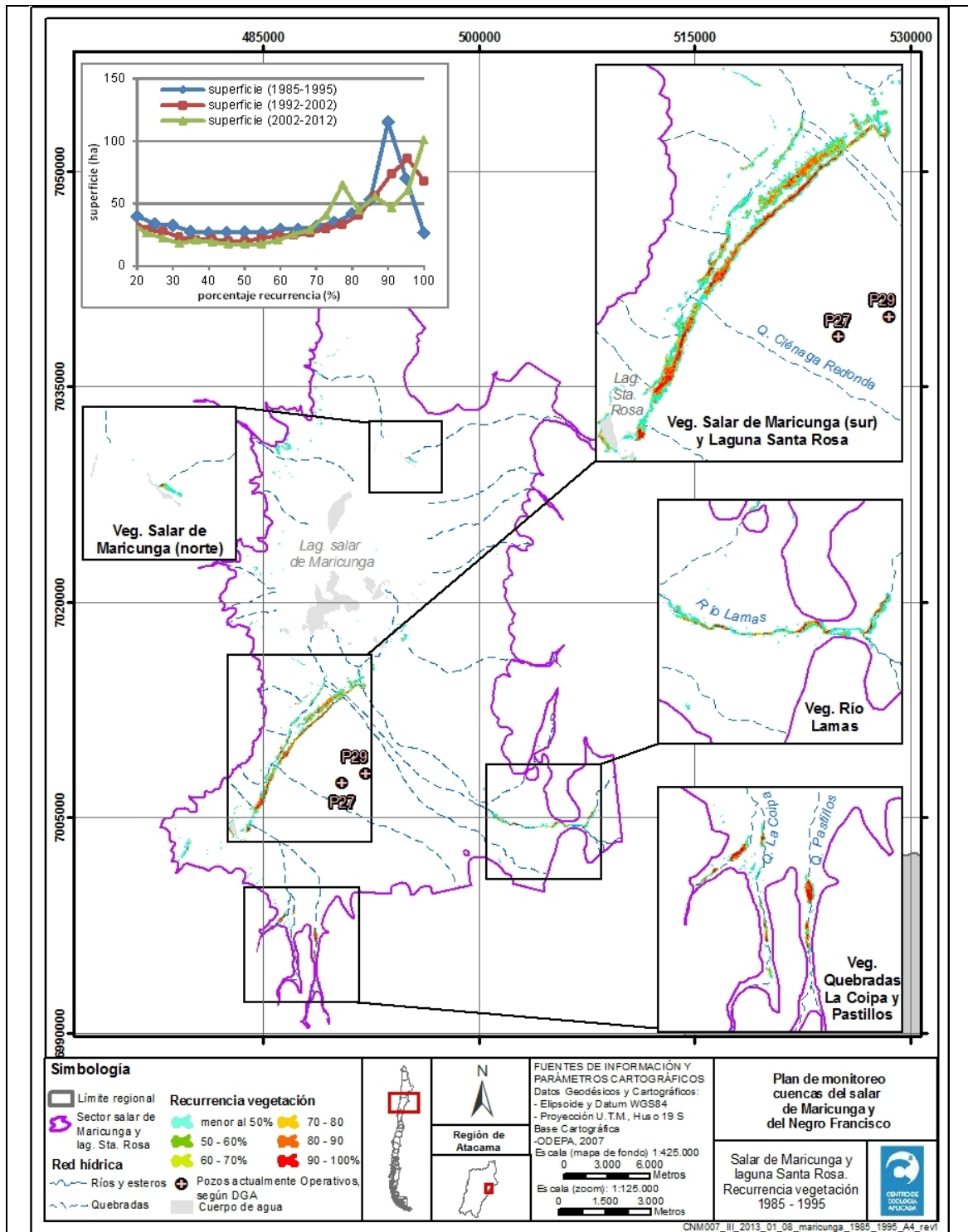


Figura 2.61. Recurrencia vegetacional Sector salar de Maricunga y laguna Santa década 1985-1995

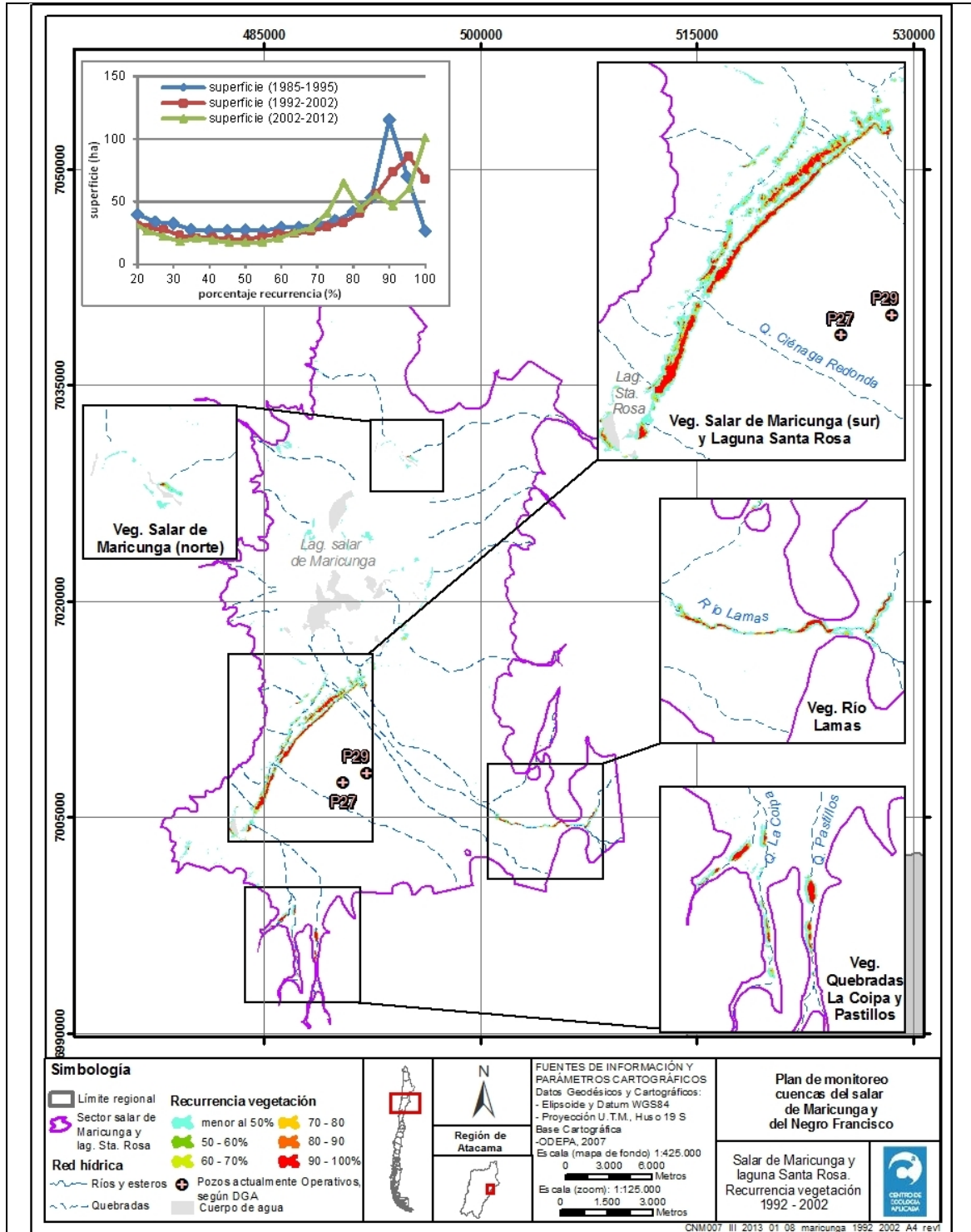


Figura 2.62. Recurrencia vegetacional Sector salar de Maricunga y laguna Santa década 1992-2002

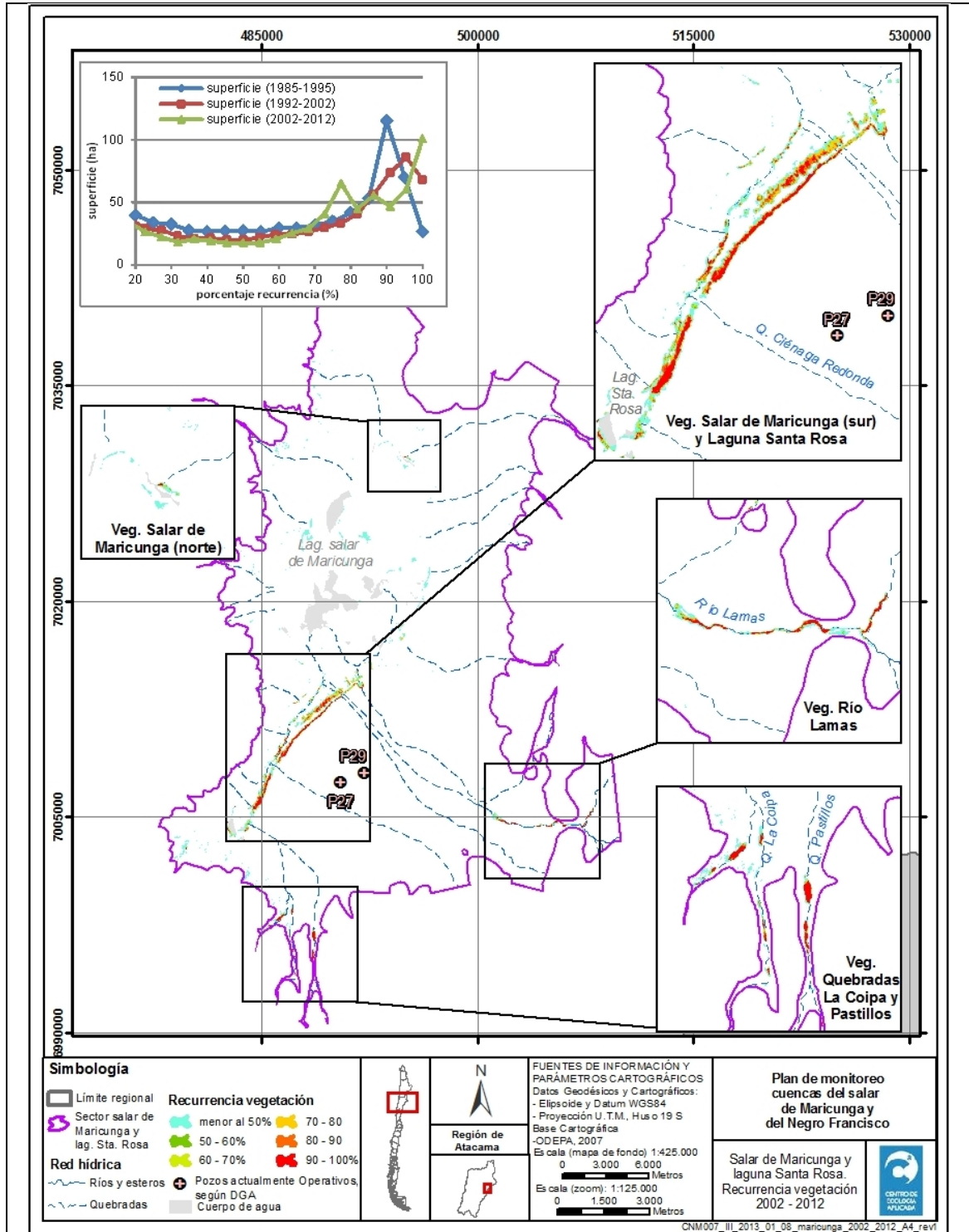


Figura 2.63. Recurrencia vegetacional Sector salar de Maricunga y laguna Santa década 2002-2012

1. Sector laguna del Negro Francisco

Unidad Negro Francisco: es el área comprendida por la laguna del Negro Francisco y el río la Gallina el cual presenta parches de vegetación Azonal. De acuerdo al análisis de recurrencia la cobertura vegetal presenta tendencias que apuntan a un aumento de la vegetación en la última década analizada como se observa en la Figura 2.64.

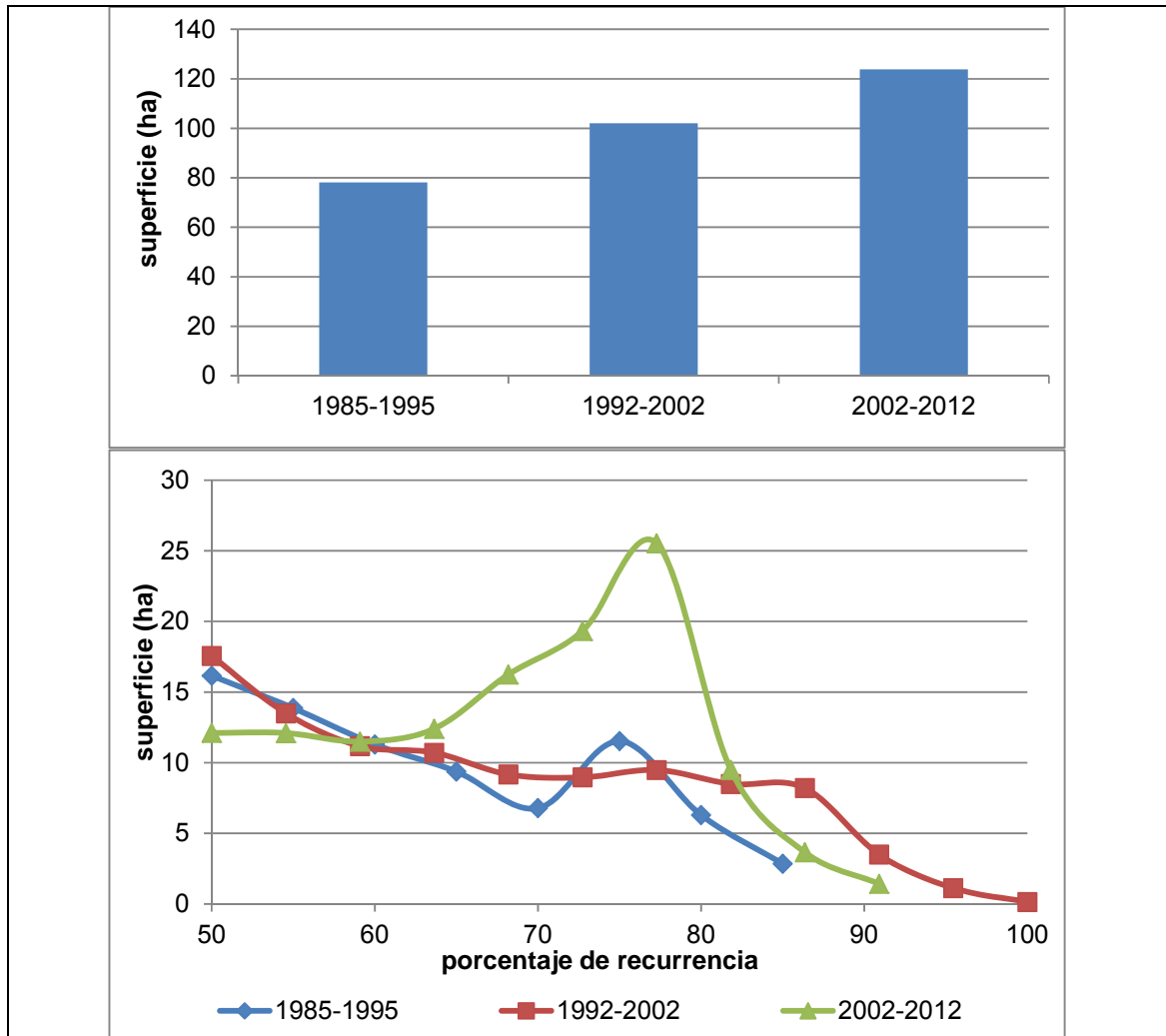


Figura 2.64. Superficie total de la vegetación con una recurrencia mayor o igual al 50% de las imágenes analizadas por décadas y Distribución de la recurrencia por décadas en la unidad laguna del Negro Francisco

Unidad quebrada del Llano: es un área donde se desarrollan pequeños parches de vegetación, pero que de acuerdo al análisis de recurrencia de cobertura vegetal presenta un aumento continuo de la cobertura vegetal en las décadas analizadas, como se observa en la Figura 2.65.

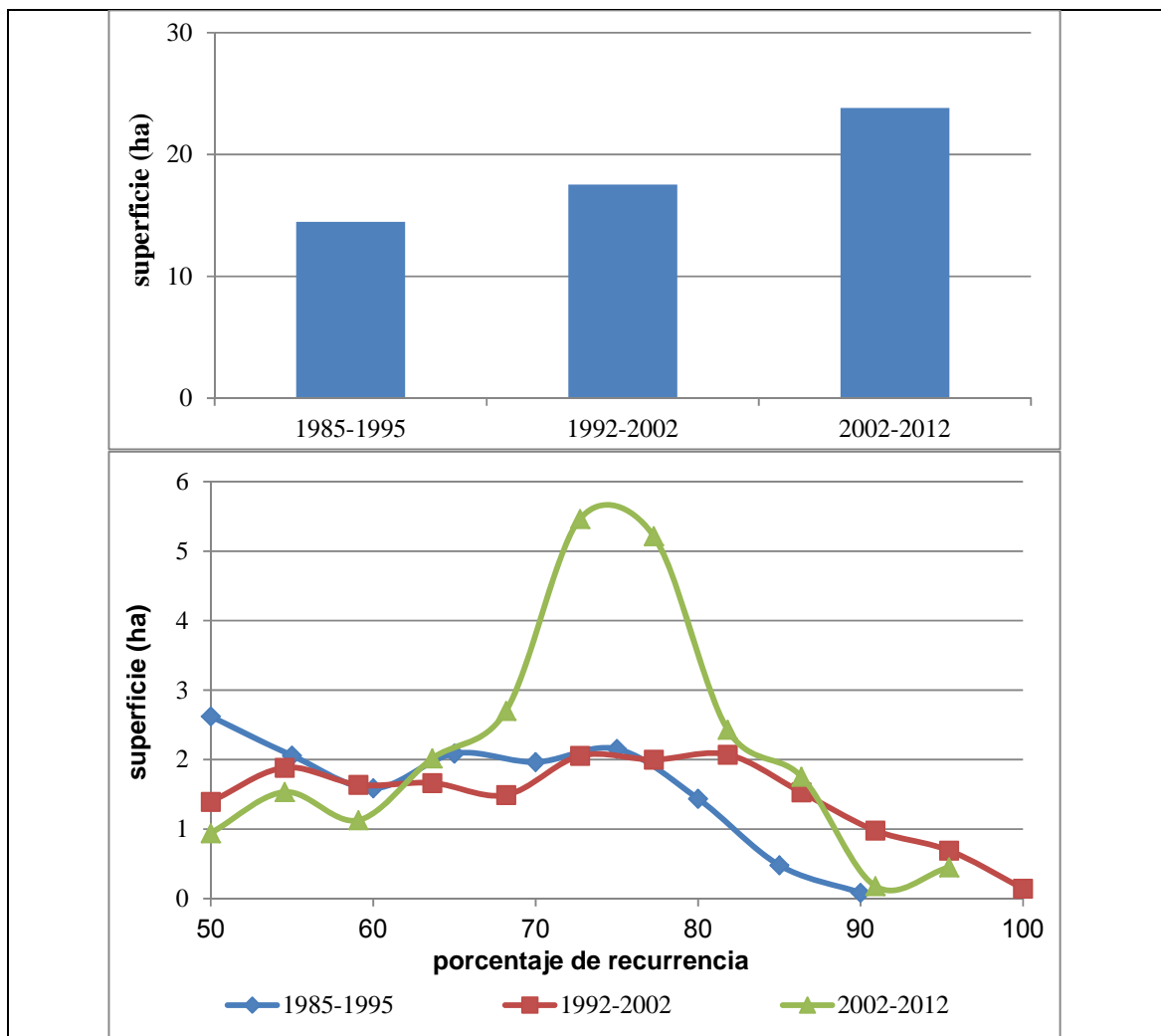


Figura 2.65. Superficie total de la vegetación con una recurrencia mayor o igual al 50% de las imágenes analizadas por décadas y Distribución de la recurrencia por décadas en la unidad quebrada del Llano.

Unidad quebrada de la Sal: esta unidad se encuentra en el noreste del sector de estudio, son pequeños parches vegetacionales que de acuerdo al análisis de recurrencia de cobertura vegetal, presenta un aumento en la cobertura vegetal en la última década, ahora bien, es un área bastante reducida donde cualquier cambio por pequeño que sea influye en el análisis final. El aumento se presenta en la Figura 2.66.

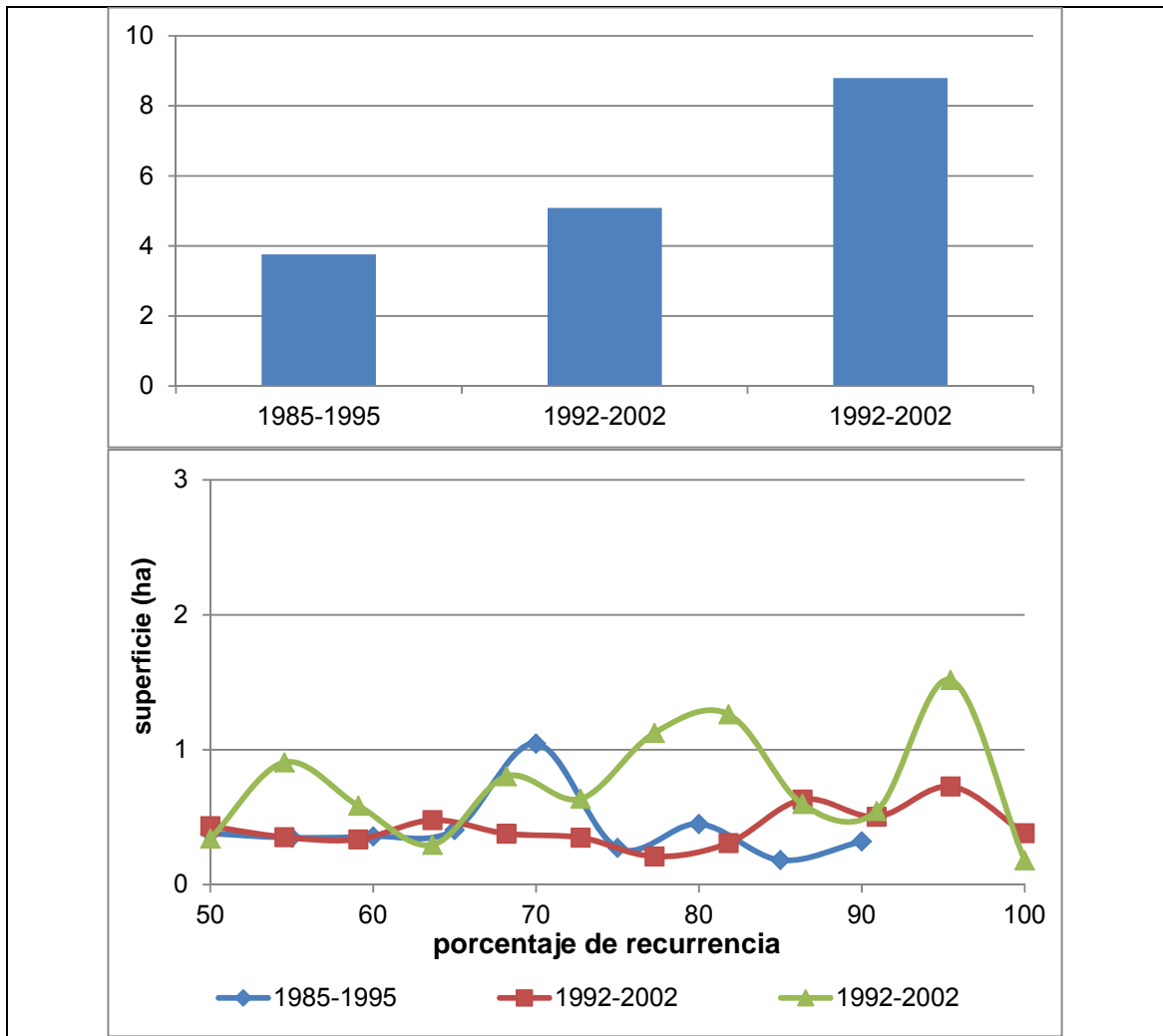


Figura 2.66. Superficie total de la vegetación con una recurrencia mayor o igual al 50% de las imágenes analizadas por décadas y Distribución de la recurrencia por décadas en la unidad quebrada de la Sal

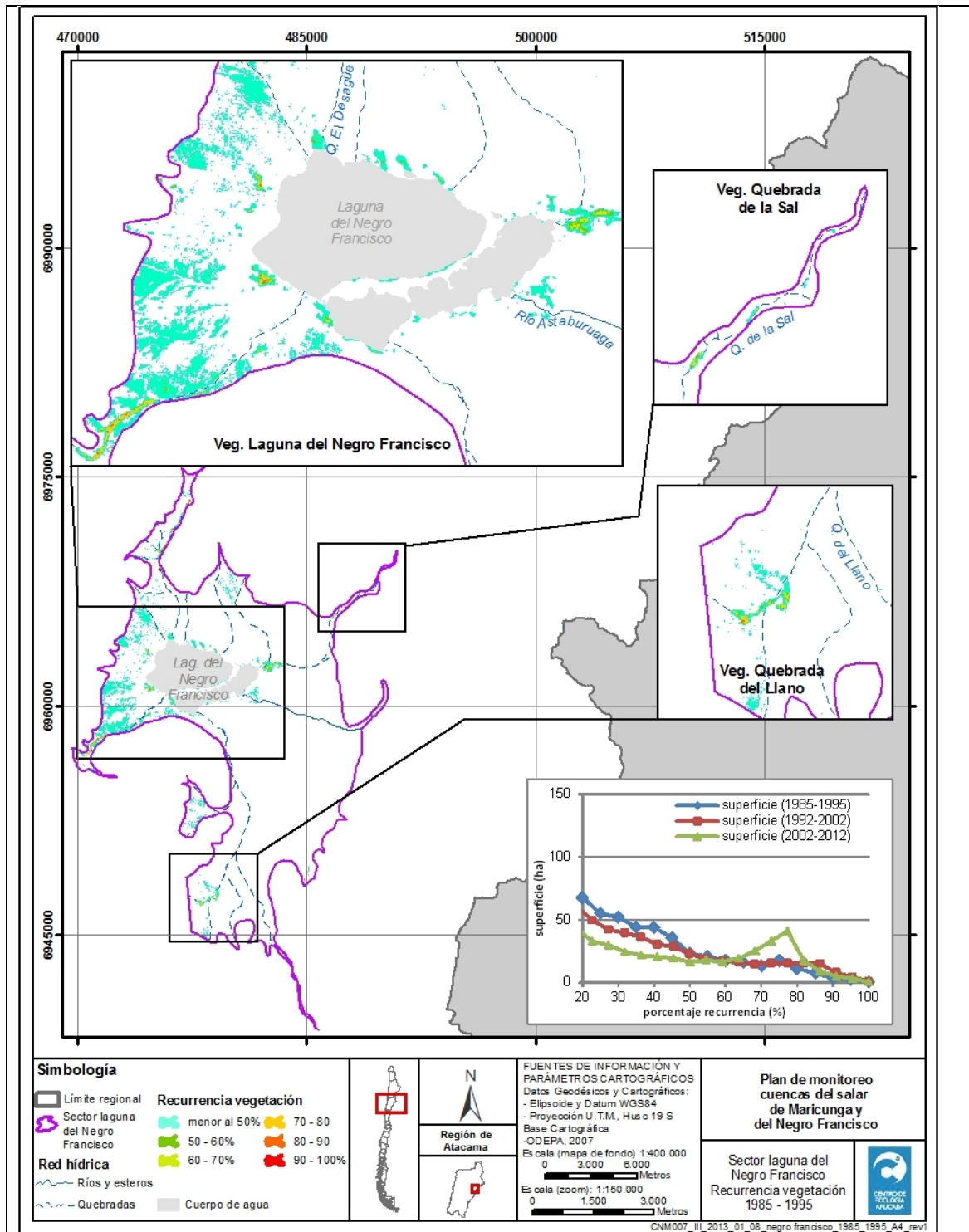


Figura 2.67. Recurrencia vegetacional Sector laguna del Negro Francisco década 1985-1995

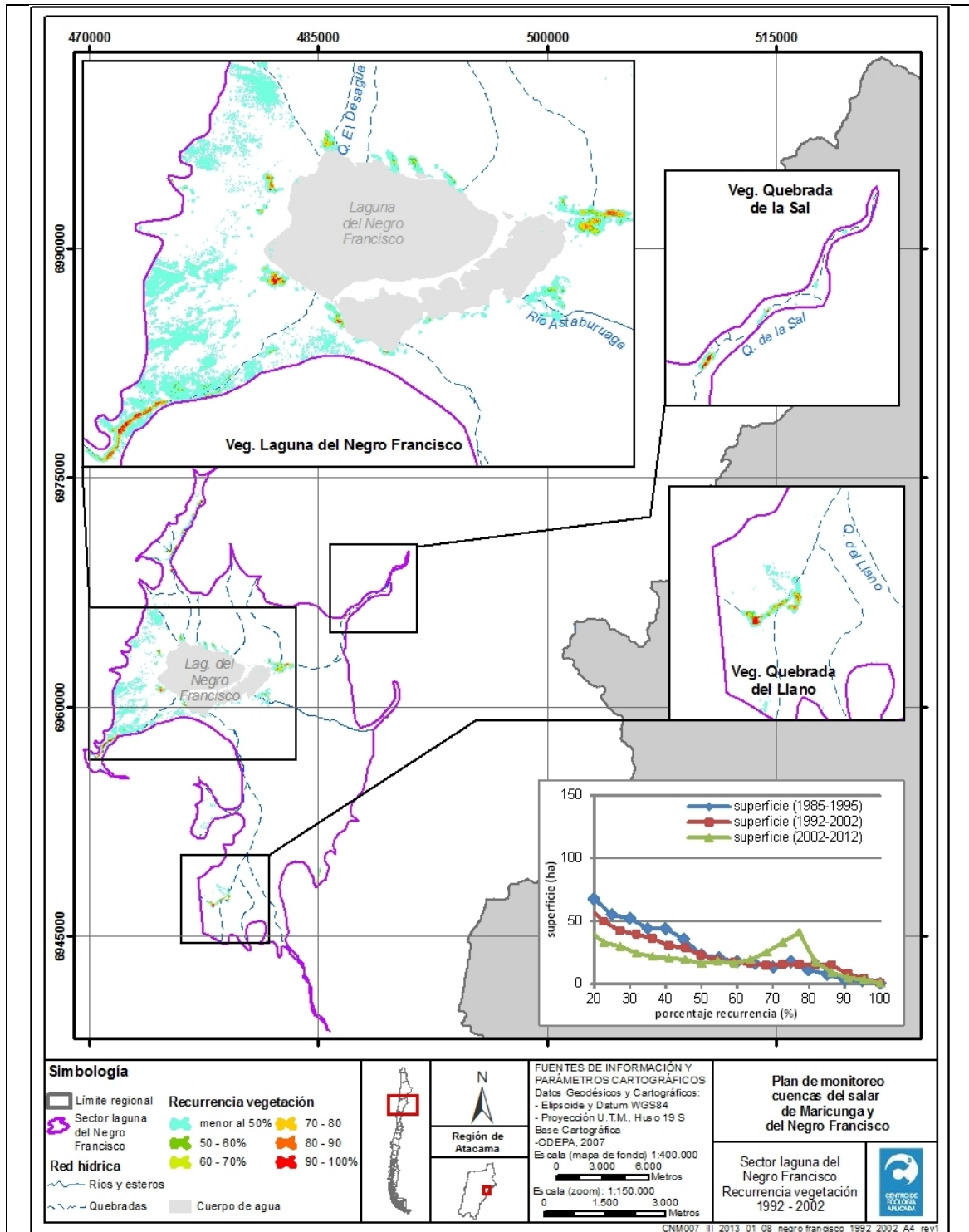


Figura 2.68. Recurrencia vegetacional Sector laguna del Negro Francisco década 1992-2002

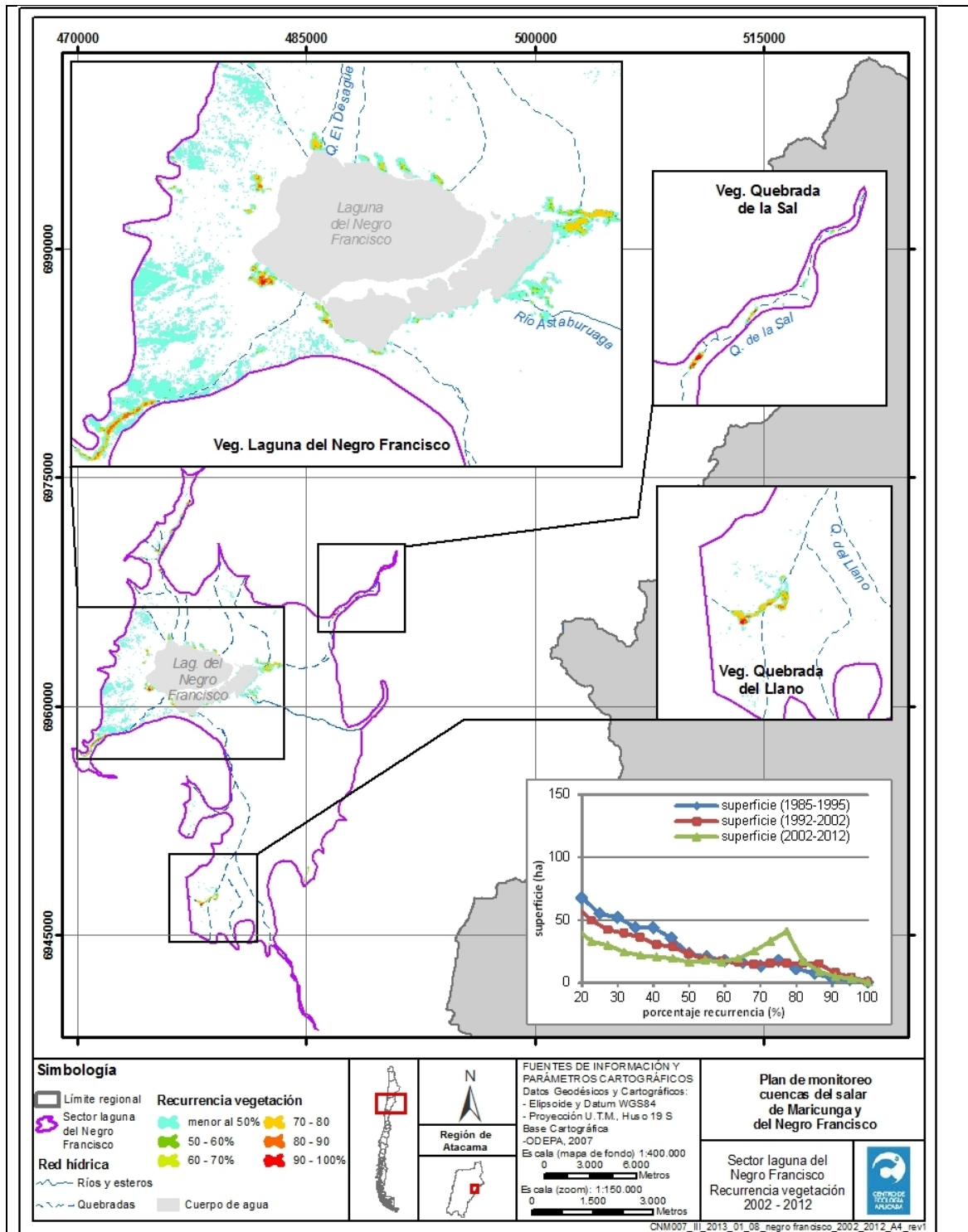


Figura 2.69. Recurrencia vegetacional Sector laguna del Negro Francisco década 2002-2012

Cabe mencionar que el análisis del sector laguna Verde y laguna del Muerto no fue considerado dentro del informe, pues el método utilizado por el análisis de recurrencia vegetacional requiere un traslape efectivo de capas de información y para lograr un buen resultado en áreas tan pequeñas como las que fueron estimadas en este sector (menos de 3 ha en promedio), se necesitarían imágenes multiespectrales de mayor resolución a las que entrega el satélite Landsat. A modo de consulta se adjuntan las Figura 6.3, Figura 6.4 y Figura 6.5 que contienen las cartografías con la distribución de la recurrencia vegetacional en el sector laguna Verde y laguna del Muerto para las tres décadas analizadas.

Relación entre las coberturas estimadas de los cuerpos de agua con datos meteorológicos disponibles.

Como se pudo observar en el capítulo de antecedentes del presente informe, dentro de la unidad “Clima y Meteorología”, la ubicación de las estaciones DGA se encuentran a una distancia considerable en referencia al área de estudio general (la estación Pastos Grandes es la estación DGA más cercana, a más de 35 km lineales). A lo anterior se debe agregar la diferencia altitudinal existente entre estas estaciones respecto de la ubicación del área de estudio, pues se estiman más de 1000 m.s.n.m de diferencia por lo que la influencia orográfica no es registradas por estas estaciones al igual que la influencia de las precipitaciones en altura producto del invierno altiplánico.

Existen otros registros de datos meteorológicos (ver Tabla 6.12: Estadística Mensual Precipitaciones periodo 2009-2010 en Estaciones del proyecto de Reinicio y Expansión Lobo-Marte (Amec, 2011)., de las estaciones Lobo-Marte, ubicadas en el centro del área de estudio, pero estos registros que poseen solo 1 año de información y consideramos que no son confiables del todo pues ambas estaciones están a una altitud similar y a solo 5 kilómetros de distancia, pero registran datos diferentes sobre todo en los meses de invierno, que es la temporada donde mas precipitación se registra en el sector. Por consiguiente consideramos que no es posible correlacionar directamente los datos de precipitación con las estimaciones del tamaño de los cuerpos de agua en el área de estudio.

Correlación entre las coberturas de los cuerpos de agua y vegetación con las fechas de inicio de las actividades extractivas en el área de estudio

Establecer el inicio efectivo de la extracción del recurso agua en el sector es altamente complejo, pues no existe un registro oficial donde se establezca una fecha concreta donde ocurra tal suceso, por ello utilizaremos como parámetro comparativo las fechas de aprobación de los proyectos en el SEIA (ver Tabla 6.3: Proyectos aprobados en el SEIA en la provincia de Copiapó, cercanos a la zona de estudio) ya que corresponde a una fecha desde donde un proyecto se encuentra ad portas de poder iniciar sus operaciones.

Las fechas de aprobación de los proyectos de acuerdo a los registros del SEIA comienza en diciembre de 1994 y hasta fines de esa década no se registran mayores actividades (solo 2 registros), pero en el periodo siguiente, entre los años 2000 y 2005, es cuando comienza un aumento de la cantidad de proyectos, prospecciones y exploraciones efectuadas en el sector (7 registros) iniciando así la etapa de aumento presión sobre el sistema natural. Finalmente entre los años 2007 a 2012, es cuando el aumento de los proyectos, prospecciones y exploraciones da un salto significativo en el sector,

aumentando en más del doble los registros anteriormente descritos, dejando de manifiesto el aumento de la presión por parte de actividades antrópicas en el sistema natural.

Dado lo anteriormente descrito, establecer una correlación directa entre el tamaño estimado de las lagunas o la cobertura vegetal y el inicio de las actividades antrópicas en la zona no es posible de determinar con sencillez, pues como se describió con anterioridad el comportamiento del sistema en general (ha permanecido medianamente estable durante el periodo analizado (mayo 1985 a mayo 2012), ahora bien, es posible distinguir algunas influencias y efectos manifiestos sobre la vegetación del sector, como por ejemplo la afectación del sistema vega Pantanillo donde es posible distinguir una disminución de la vegetación en más de 10 ha durante el periodo analizado con una degradación profunda del medio natural (ver Figura 2.70).



Figura 2.70. Intervención vega Pantanillo, terreno marzo 2013.



CONCEPTUALIZACIÓN

3 CONCEPTUALIZACIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS HUMEDALES EN LA ZONA DE ESTUDIO

En esta sección se presenta una recopilación bibliográfica de los antecedentes relevantes que permiten caracterizar los humedales de la zona de estudio desde el punto de vista termohidrodinámico y ecosistémico. Particularmente, la revisión se concentra en el Salar de Maricunga, la Laguna Santa Rosa, el corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda, y la Laguna del Negro Francisco.

3.1.1 Objetivos

Objetivo general

Mediante una revisión bibliográfica se desea describir el comportamiento termohidrodinámico y ecosistémico de los humedales en la zona de estudio.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el comportamiento físico o abiótico de los sistemas en estudio.
2. Caracterizar el comportamiento de la componente biótica de los sistemas en estudio.

3.1.2 Metodología

Utilizando información disponible en los estudios de impacto ambiental en la zona de estudio, en informes generados por organismos estatales y estudios académicos, se realizó una caracterización de la termo-hidrodinámica de los humedales, salares y lagunas ubicadas en la zona de estudio. Particularmente, la revisión se concentra en el Salar de Maricunga, la Laguna Santa Rosa, el corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda, y la Laguna del Negro Francisco.

3.1.1 Humedales altoandinos

Los humedales son “superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas”, incluyendo la vegetación que los rodea. Los humedales incluyen pantanos, marismas, lagos, **vegas**, **bofedales**, **salares**, pastizales húmedos, turberas y estuarios (MMA, SAG, DGA; 2011).

Los humedales que son parte de los ecosistemas del altiplano, mantienen una diversidad biológica única y se caracterizan por un alto nivel de endemismo, tanto de especies animales como vegetales, terrestres y acuáticas. Los humedales son, además, refugio y zonas de reproducción de una gran cantidad de especies que se encuentran con problemas de conservación, juegan un rol vital en el desarrollo de las cuencas andinas y de los sistemas hidrogeográficos que sostienen actividades de importancia económica y social. Su alta fragilidad esta asociada a causas naturales, como el cambio en el régimen pluviométrico y también a causas antrópicas, como son las actividades de drenaje, pastoreo excesivo o alteración en el régimen hídrico (Ahumada et al., 2011).

Estos humedales altoandinos se forman a partir del afloramiento de aguas subterráneas, surgencia que se produce por la proximidad de la napa subterránea a la superficie terrestre. El agua escurre en forma superficial y/o subterránea hasta el lugar de menor altura de la cuenca, formando lagunas terminales debido a la imposibilidad de escapar de la cuenca. El agua subterránea que aflora es de carácter dulce a moderadamente salina, lo que permite la aparición de estructuras vegetacionales tipo vega y bofedal, entidades extremadamente frágiles por su dependencia del agua (Squeo et al., 2006), las cuales se emplazan a lo largo de los canales formados entre los afloramientos y la laguna terminal. Esta estructura de vegetación tiene patrones de distribución azonal, distribución que se asocia a los suministros hídricos estable y/o permanentes (Ahumada et al., 2009).

Los altos niveles de evaporación, por otra parte, concentran las sales de las aguas afloradas durante su recorrido hacia las lagunas y en la laguna misma. Cuando la salinidad alcanza valores por sobre los 200 g/l aprox., ocurre un fenómeno de precipitación de sales (MMA, SAG, DGA; 2011), formando costras de sal en las orillas de los cursos de agua y en las orillas de las lagunas, pudiendo en algunos casos cubrir toda la superficie del cuerpo de agua. Estos cuerpos de agua salada o salobres se denominan salares y generalmente tienen profundidades muy bajas de unos pocos centímetros (De la Fuente & Niño, 2010).

3.1.1 Sistema de lagunas terminales altiplánicas

Un modelo conceptual simplificado del sistema de lagunas terminales altiplánicas se presenta en la Figura 3.1, el cual presenta un sistema de jerarquización entre los parámetros ambientales físicos, bioquímicos y biológicos, cuya interrelación funcional se explica a continuación.

Las lagunas terminales reciben el agua que fluye tanto en forma superficial (desde los afloramientos) como subterránea hasta el fin de la cuenca, en estas lagunas ocurre evapoconcentración de las sales generando lo que se conoce como **salares**. Normalmente en los sistemas altiplánicos los afloramientos de agua no ocurren en un único lugar, sino que el agua surge en diferentes puntos haciendo difícil cuantificar los volúmenes de agua que afloran a través de mediciones directas. Debido a esto, es que para cuantificar los flujos de agua del sistema se suele hacer un balance de volumen sobre la laguna terminal a la que llegan todos los aportes (DGA-UCN-IRD., 1999a).

Al considerar el balance hídrico sobre la laguna terminal en las cuencas endorreicas, los aportes están dados por el balance hídrico del acuífero, de donde se puede obtener la tasa de afloramiento de agua subterránea. Por otro lado, la principal pérdida de agua en el salar se produce por evaporación. En la evaporación del agua de los salares, participan diferentes componentes meteorológicos como el balance radiativo, el viento y la humedad atmosférica. La evaporación se produce cuando las moléculas de agua alcanzan una energía cinética tal que les permite vencer la atracción de las otras moléculas y pueden escapar a la atmósfera. En primer lugar la energía necesaria para la evaporación es aportada por el intercambio térmico que se produce entre la atmósfera, el agua y también los sedimentos del fondo (De la Fuente & Niño, 2010), esto último debido a la poca profundidad del agua de los salares. Cuando existen sales disueltas en el agua éstas disminuyen la energía libre de las moléculas disminuyendo la evaporación (Lensky et al, 2005), de modo que a mayor salinidad menor es la tasa efectiva de evaporación y por sobre los 200 g/l no habría evaporación (MMA, SAG, DGA; 2011).

Al tener el balance volumétrico de los salares identificado con sus entradas (tasa de afloramiento de agua subterránea y aporte desde canales), salidas (tasa de evaporación) y el volumen de la cubeta definidos (definida por su morfología), entonces se puede obtener el tiempo de retención, la cobertura del espejo de agua y la profundidad de las lagunas. Es importante hacer notar que la precipitación de sales que ocurre en los salares puede cambiar la morfología de la laguna en periodos cortos inclusive dentro de una estación (De la Fuente & Niño, 2010), aunque generalmente se considera que su morfología es estable. El tiempo de retención, por otra parte, corresponde al tiempo que tarda una gota de agua desde que entra al sistema hasta que sale. Este tiempo influye en los procesos bioquímicos que se producen en el sistema acuático, por ejemplo, en la concentración de las sales y su posterior precipitación, la proliferación de microorganismos y la descomposición de materia orgánica.

Por su parte, los procesos bioquímicos que ocurren en las lagunas cambian el contenido de oxígeno disuelto, nutrientes, compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos, etc. afectando a la microbiota que vive en las lagunas terminales, en particular a los tapetes microbianos, que como productores primario, constituyen la base de las cadenas tróficas de los sistemas acuáticos altiplánicos (Farías et al., 2013). Los tapetes microbianos corresponden a agrupaciones de microorganismos fotosintéticos que crecen adheridos en forma de láminas a la superficie del suelo, como organismos bentónicos (Farías et al., 2013). Un ejemplo de los microorganismos que se desarrollan en las lagunas de los salares corresponde a las comunidades de diatomeas bentónicas, éstas responden al aumento de nutrientes, sobre todo nitrógeno y fósforo en el agua mediante cambios en la composición de la comunidad (Pardo et al., 2010).

Los flamencos, por otra parte, se alimentan de estos tapetes microbianos, de hecho en diferentes estudios se ha registrado que prefieren alimentarse en lugares específicos de los humedales que habitan, lo que ha sido explicado en el hecho que necesitan alimentarse de microorganismos que tengan un tamaño dentro de un cierto rango, el cual tiene relación con la forma de sus picos, el que actúa como un filtro (Hulbert and Chang 1983; Mascitti and Kravetz, citado en De la Fuente & Niño 2010). Así se puede ver como las comunidades de Flamencos son indirectamente afectadas por cambios en los nutrientes y demás parámetros bioquímicos del agua de las lagunas, ya que estos cambios pueden afectar la composición de las comunidades microbianas. Además, los Flamencos utilizan los ecosistemas formados por los salares para construir sus nidos dentro de las lagunas, en islotes que ellos mismos levantan con barro y vegetación acuática para protegerlos de ataques de predadores como los zorros (Hulbert and Keith 1979, citado en De la Fuente & Niño 2010; Mascitti & Nicolossi, 1992), de modo que el agua de la laguna debe ser lo suficientemente profunda para impedir el paso de predadores, pero sin inundar los nidos cuya parte más alta queda aproximadamente 20 cm por sobre la superficie (Mascitti & Nicolossi, 1992). Cambios en la profundidad del agua de las lagunas podrían afectar su comportamiento y hacerles escoger otros lugares para nidificar.

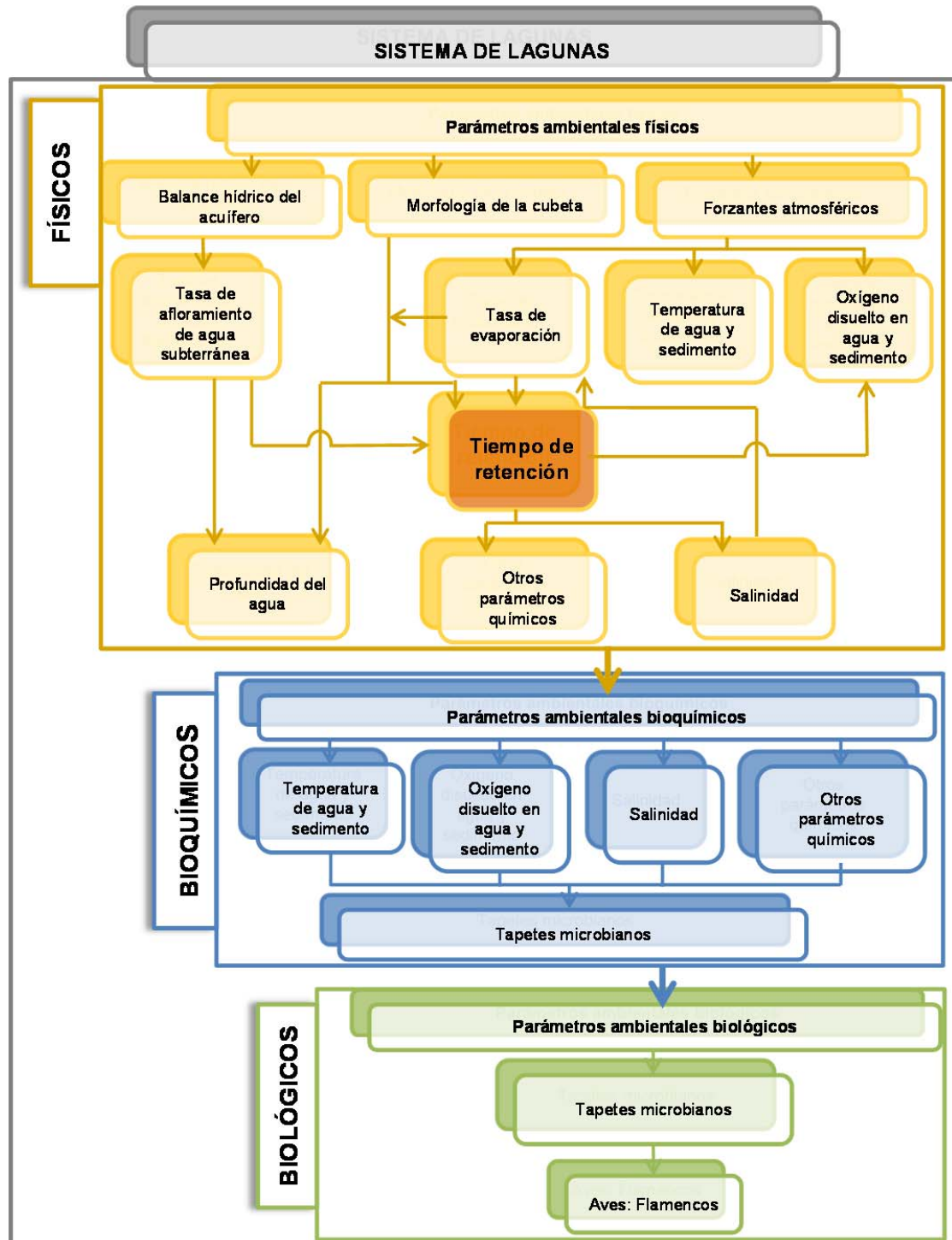


Figura 3.1: Modelo conceptual simplificado de sistema de lagunas altiplánicas

3.1.2 Sistema de canales altiplánicos

Un modelo conceptual simplificado del sistema de canales altiplánicos se presenta en la **Error! Reference source not found.**, el cual presenta un sistema de jerarquización entre los parámetros ambientales físicos, bioquímicos y biológicos, cuya interrelación funcional se explica a continuación.

Como se ilustró anteriormente, la alimentación de agua en los canales altiplánicos proviene de los afloramientos de agua que ocurren en las zonas más altas de las cuencas, formando canales que conducen el agua hasta las lagunas terminales de la cuenca cerrada. Se genera un sistema balanceado hídricamente entre el agua que es aportada en forma subterránea, a través de nuevos afloramientos, el agua que escurre por el cauce y el agua que se va a la atmósfera por evapotranspiración. En este sentido, la evapotranspiración considera dos procesos que ocurren en el área con vegetación de los humedales, por un lado la evaporación del agua contenida en el suelo y en el canal mismo, y por otro lado, la transpiración de la vegetación. Desde los tejidos de la planta, el agua se libera hacia la atmósfera con un mecanismo llamado estoma que permite regular la cantidad de agua que es liberada, la que depende del suministro de agua, las necesidades hídricas (que van cambiando de acuerdo al estado de desarrollo de la planta), la salinidad del suelo y las condiciones meteorológicas, es decir, la radiación solar neta, la temperatura del aire, el gradiente de presión de vapor, la humedad del aire y la velocidad del viento (FAO, 2006).

Así, el balance hídrico del acuífero determinará la tasa de afloramiento de agua por el canal y esto en conjunto con la morfología del cauce y la cobertura y tipo de vegetación, determina el tiempo de retención. La morfología del cauce está directamente influenciada por la vegetación que crece en el cauce, tanto la que está sumergida (vegas y bofedales) como la que crece en las riveras (pajonales). La vegetación cambia el volumen de la cubeta del canal cambiando el área inundada, afectando la rugosidad, la que cambia las velocidades de escurrimiento y la altura del agua. El tiempo que demora el agua en escurrir por el canal influye directamente en las reacciones físicas y químicas que se producen en el canal, cambiando las concentraciones de químicos, salinidad y nutrientes, influyendo a su vez en la distribución y la cobertura de la vegetación, de modo que la morfología del cauce se vuelve dinámica.

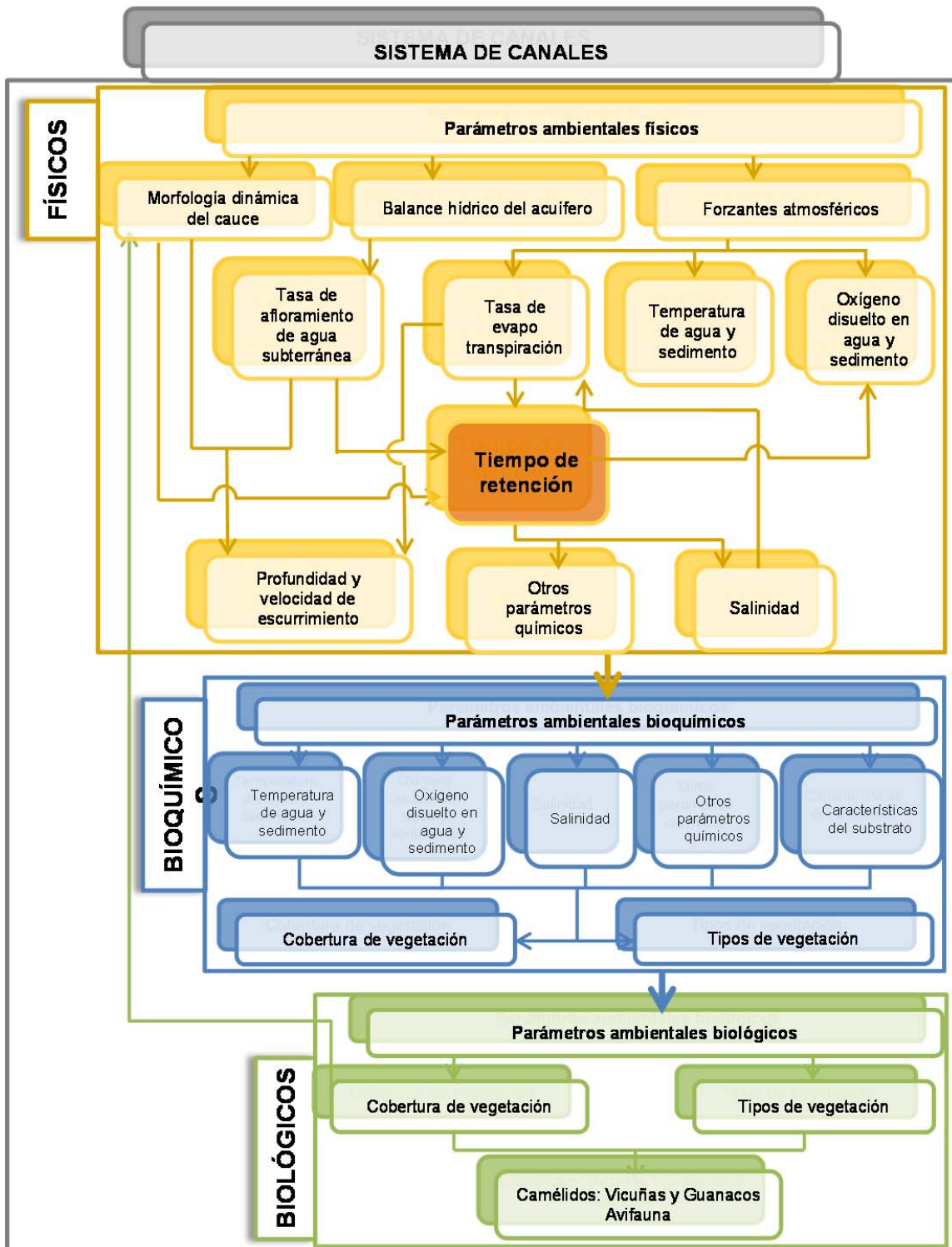


Figura 3.2: Modelo conceptual simplificado de sistema de canales altiplánicos.

En los humedales altoandinos de cuencas endorreicas la evaporación a lo largo del canal genera un gradiente de salinidad entre el área de afloramiento y la laguna terminal, lo que junto con las características del substrato y el nivel freático determina el asentamiento de diferentes tipos de especímenes vegetacionales y faunísticos que hacen uso de la vegetación. La salinidad, por otra parte, es el contenido de los iones sodio, calcio, magnesio, potasio, bicarbonato, sulfuro y cloro, pero por la dificultad de medir este contenido en terreno se suele utilizar la medición de la conductividad eléctrica como un índice de la salinidad. Sin embargo, la conductividad eléctrica depende de la proporción en la que se encuentren estos iones y también de la temperatura y presión a la que es medida. Es importante tener en cuenta que las plantas responden en forma primaria a la salinidad más que a las concentraciones y proporciones individuales de iones (FAO, 1992). El ion sodio contenido en el agua que hidrata las plantas puede afectar las propiedades del suelo. Cuando la salinidad es baja y el pH es alto, el ion sodio (Na) se intercambia con los iones magnesio (Mg) y calcio (Ca) que son constituyentes del suelo. Esto provoca que la estructura del suelo se degrade haciéndolo más compacto y duro en condiciones secas, reduciendo su permeabilidad. El indicador que se puede observar para conocer el contenido de Na en relación al Ca y Mg es la Relación de Absorción de Sodio (RAS) (FAO, 1992).

Un aumento de la salinidad en la zona radicular (independientemente de la composición de los iones) provoca una disminución del crecimiento de la planta, ya que baja la producción de células de recambio. La principal hipótesis que se maneja al respecto es que la planta debe gastar más energía en adquirir el agua del suelo y ya no la utiliza en crecer (FAO, 1992). Existe un umbral de tolerancia a la salinidad, el que dependerá de las necesidades hídricas de la planta, lo que toma mayor importancia en sectores de clima seco y con altas tasas de evapotranspiración.

Respecto de los sistemas vegetacionales en canales altiplánticos, en términos generales existen 2 tipos de sistemas de vegetación, los sistemas zonales y los azonales. La vegetación zonal es la que está adaptada a condiciones propias del clima de la zona. En el altiplano esto se traduce en especies que sobreviven en ambientes muy secos, donde aprovechan la escasa precipitación durante su estado activo y se mantienen en condición de latencia durante la época de sequía. La vegetación azonal, por otra parte, es aquella vegetación cuya distribución responde a condiciones locales de suelo, humedad o cualquier característica particular que condicione su presencia sin tener un patrón continuo de distribución. En los humedales, la vegetación que depende del agua de los afloramientos de agua subterránea se denomina "Vegetación Azonal Hídrica", ya que depende de un suministro permanente y constante de agua para sobrevivir (SAG, 2009).

La zona del altiplano chileno corresponde a Estepa Andina de Puna Seca y dentro de esta región la vegetación azonal hídrica es de 3 tipos: bofedal, pajonal hídrico y vega, los cuales se distribuyen según sus requerimientos hídricos (MMA, SAG, DGA; 2011). En la vega, la vegetación se dispone como un césped parejo, mientras que el pajonal húmedo está compuesto por especies de crecimiento cespitoso con pastos muy duros y toscos con alturas mayores a 40 cm (SAG, 2009). Los bofedales, por otra parte, son sistemas de vegetación totalmente cubierta de agua donde hay formación de cojines en forma semiglobosa de apariencia pareja en superficie (SAG, 2009). Estas formaciones vegetacionales pueden darse con aportes hídricos salinos y no salinos, sin embargo, en los salinos el aporte hídrico necesario para mantener la vegetación es mayor (SAG,

2009). En la Tabla 3.1 se describen las tolerancias de las formaciones vegetacionales no salinas, para aguas con mayor contenido salino, la estructura se considera salina.

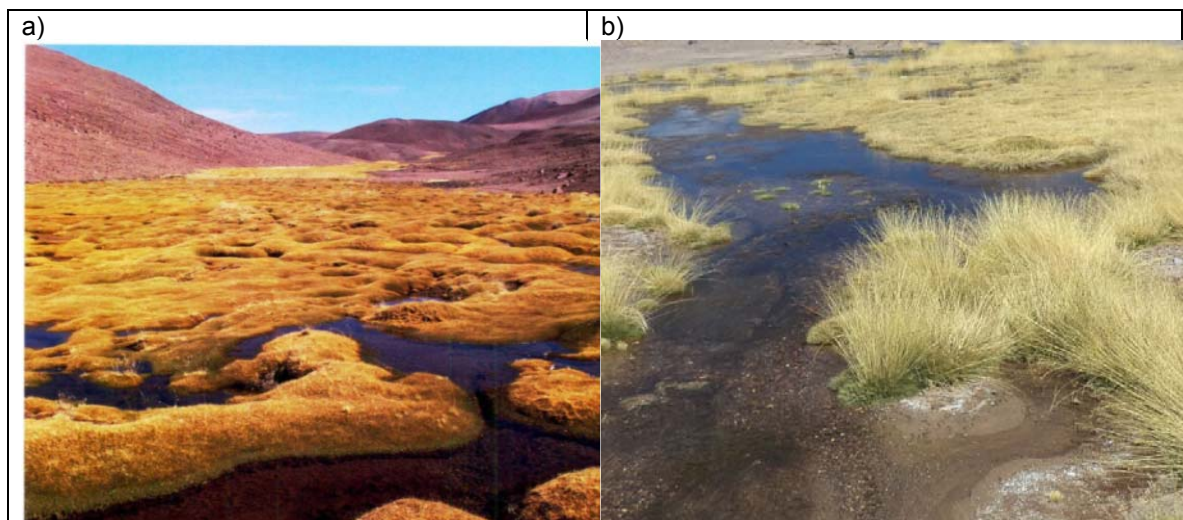


Figura 3.3: a) Bofedal no salino sector vega La Gallina (SAG, 2009). b) Pajonal hídrico río Valle Ancho.

Tabla 3.1: Clasificación de formaciones vegetacionales entre salinas y no salinas, indicando tolerancias de salinidad (SAG, 2009).

Formación vegetacional	Salinidad afloramiento (%)	Salinidad afloramiento (ppm)
Bofedal no salino	<5%	<0.05
Pajonal hídrico no salino	<30%	<0.3
Vega no salino	<20%	<0.2

Las condiciones climatológicas y morfológicas en donde se encuentran los humedales altiplánicos hace que se conviertan en un hot spot, es decir un punto con alta concentración de biodiversidad (MMA, SAG, DGA, 2011). Estos lugares cobran importancia ya que la vegetación permite la aparición de diferentes tipos de especímenes faunísticos que aprovechan los humedales para bebida, caza y nidificación (Risacher et al, 1999). Dentro de las especies de mamíferos presentes en la zona de los humedales los mayores son las Vicuñas y Guanacos. Estas especies pastorean en la vegetación presente en los humedales del sistema de canales de la zona de estudio (CONAF, 2009; CONAF 2011a, CONAF 2011b), beneficiándose directamente de la salud del sistema.

La Vicuña (*Vicugna vicugna*) tiene su hábitat en las altiplanicies andinas desde los 3800 a los 4600 m.s.n.m. (Torres, 1983). Los Guanacos (*Lama guanicoe*) en cambio, se distribuyen desde el nivel del mar hasta los 5200 m.s.n.m. (de Lamo, 2011) adaptándose a una gran diversidad de ambientes que van desde el altiplano del Perú (8° S) hasta la Patagonia (55° S) incluyendo tierra del fuego (Gonzáles, 2006).

Los Guanacos son catalogados como herbívoros oportunistas, es decir, son capaces de alimentarse de muchos tipos de plantas, desde plantas cactáceas en la zona costera del

norte de Chile, hasta hojas de árboles en la Patagonia. Cuando hay disponibilidad prefieren alimentarse de plantas herbáceas nativas. Su adaptación a los climas extremos que habita se debe en parte a su capacidad para digerir lentamente la vegetación de baja calidad absorbiendo de mejor forma sus nutrientes, además su cuerpo utiliza el agua con eficiencia de modo que puede pasar periodos sin beber agua (Gonzales, 2006; de Lamo, 2011). Las Vicuñas, en cambio, necesitan beber agua diariamente, de modo que su conducta y por tanto su distribución está condicionada a la obtención de ese recurso (normalmente no se encuentran a más de 1.6 km del agua; Vilá, 1999). Cuando están en ambientes ricos en agua y con abundancia y buena calidad de alimento, gastan mayor tiempo en otras actividades, este comportamiento se ha explicado porque son capaces de suplir más rápido sus necesidades alimenticias (Vila & Cassini, 1993, referenciado en Vilá, 1999). Pero en general gastan entre un 70% a un 90% del tiempo pastoreando (Vila & Cassini, 1994, referenciado en Vilá, 1999), por lo que prefieren lugares donde la vegetación es de mayor contenido nutricional como es el caso de las vegas y bofedales (Vilá, 1999) que como se explicó se encuentran en lugares de afloramiento de agua subterránea.

Es importante destacar que las Vicuñas tienen sus órganos adaptados para alimentarse de la vegetación xerófila que crece en la zona altiplánica y de la puna, realizando un “pastoreo de bajo impacto” al compararse con especies introducidas. Esta especie no arranca la vegetación, sino que la corta por medio de sus incisivos superiores. Además, seleccionan partes de la planta para alimentarse. Otra adaptación importante de mencionar es que las patas de las vicuñas tienen yemas blandas que no destruyen el suelo delgado de la vegetación (Vilá, 1999).

3.1.3 Relación entre salinidad y tipo de sistema en la zona de estudio

A partir de los datos de conductividad descritos en el capítulo de hidroquímica de la línea base, se identificaron los sistemas de agua dulce y salada en la zona de estudio, los cuales se presentan en los mapas de la Figura 3.4 a la Figura 3.6. Se observa que los sistemas vegetacionales y de las lagunas ubicados en el sector del salar de Maricunga y de la laguna del Negro Francisco corresponden principalmente a agua salobre y salada, mientras que el sistema de vegas y canales en el corredor está asociado a sistemas de agua dulce.

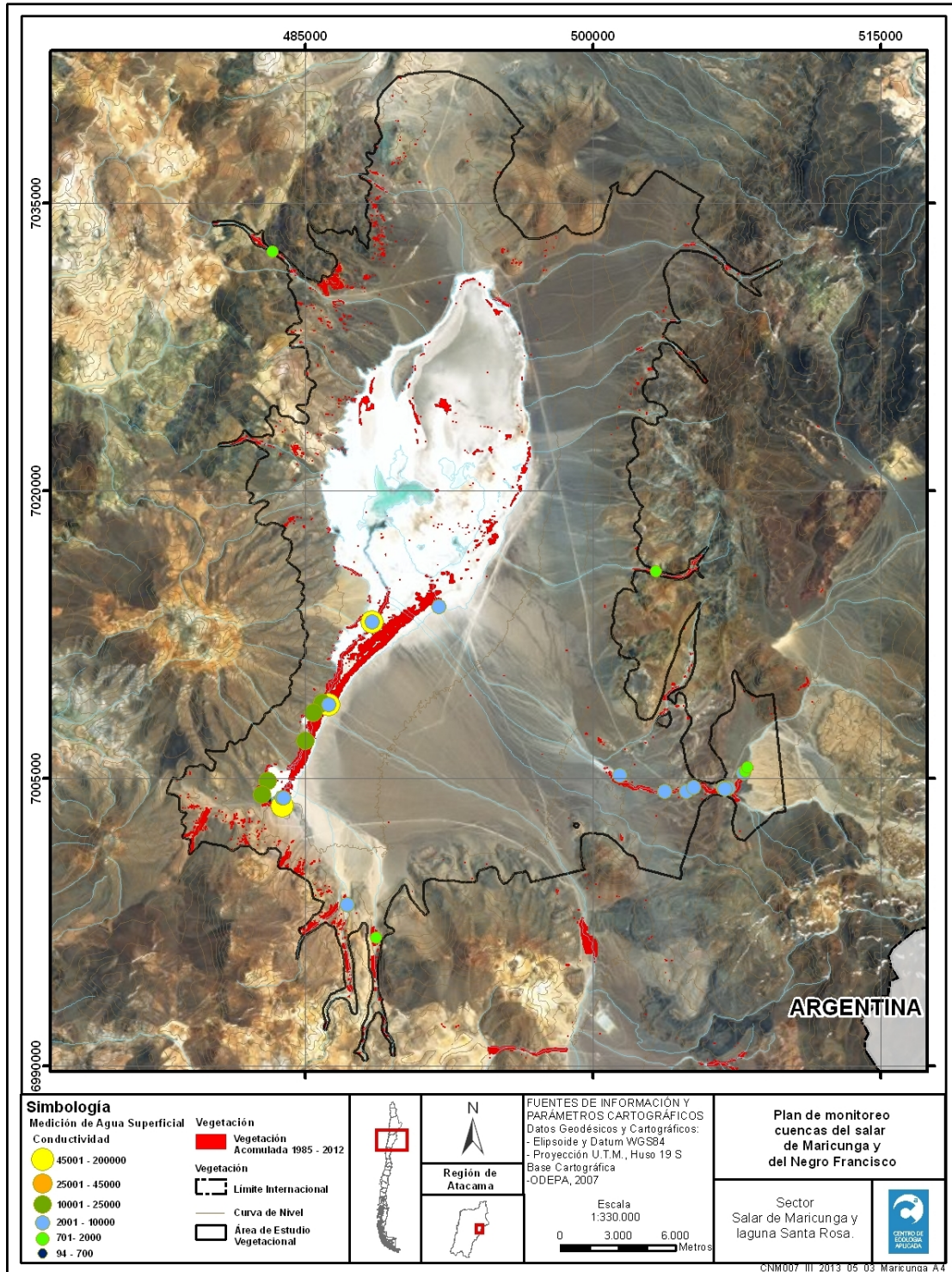


Figura 3.4: Identificación de los sistemas asociados a agua dulce y agua salada en el sector del salar de Maricunga y laguna Santa Rosa .

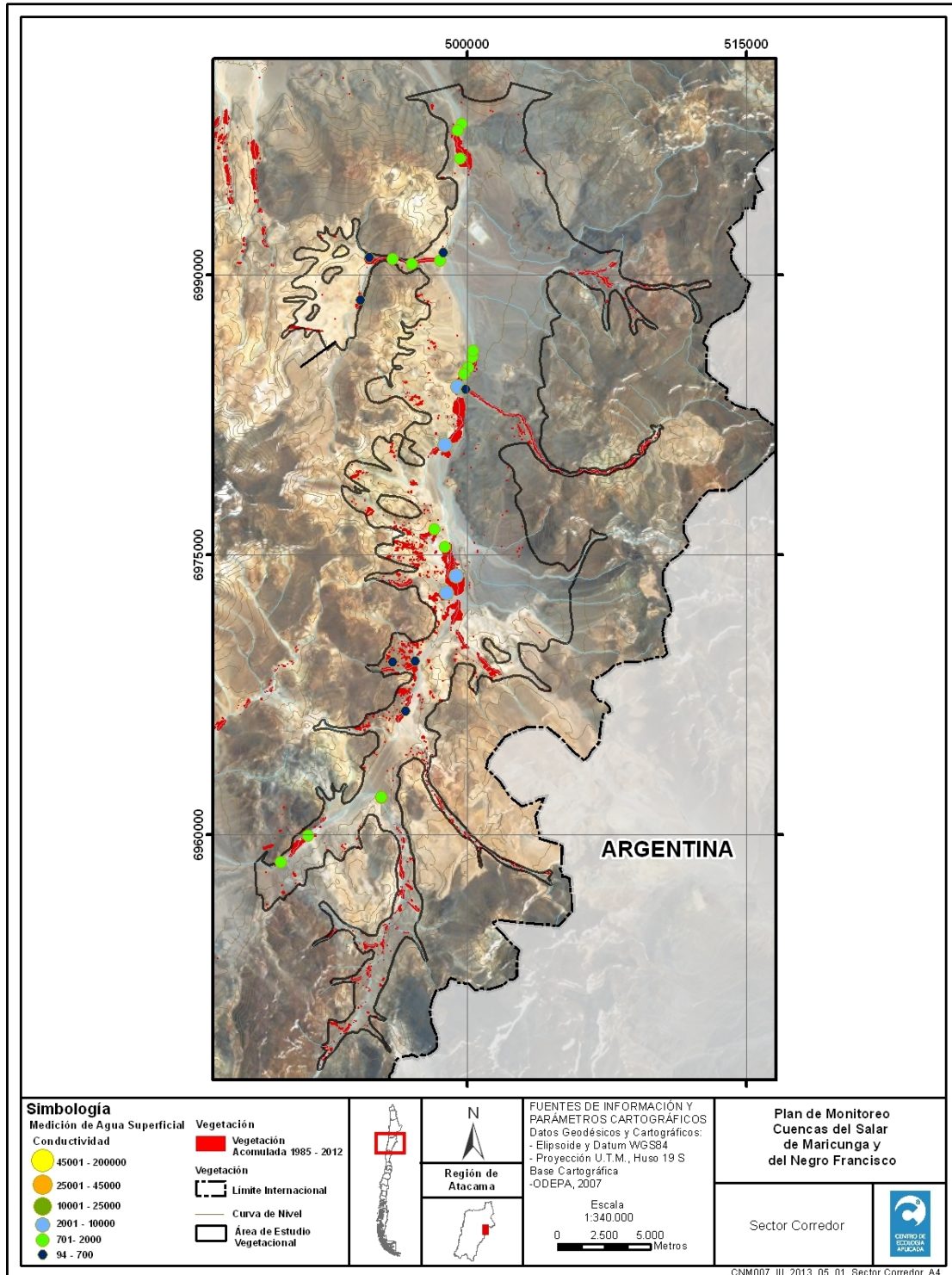


Figura 3.5: Identificación de los sistemas asociados a agua dulce y agua salada en el sector del corredor.

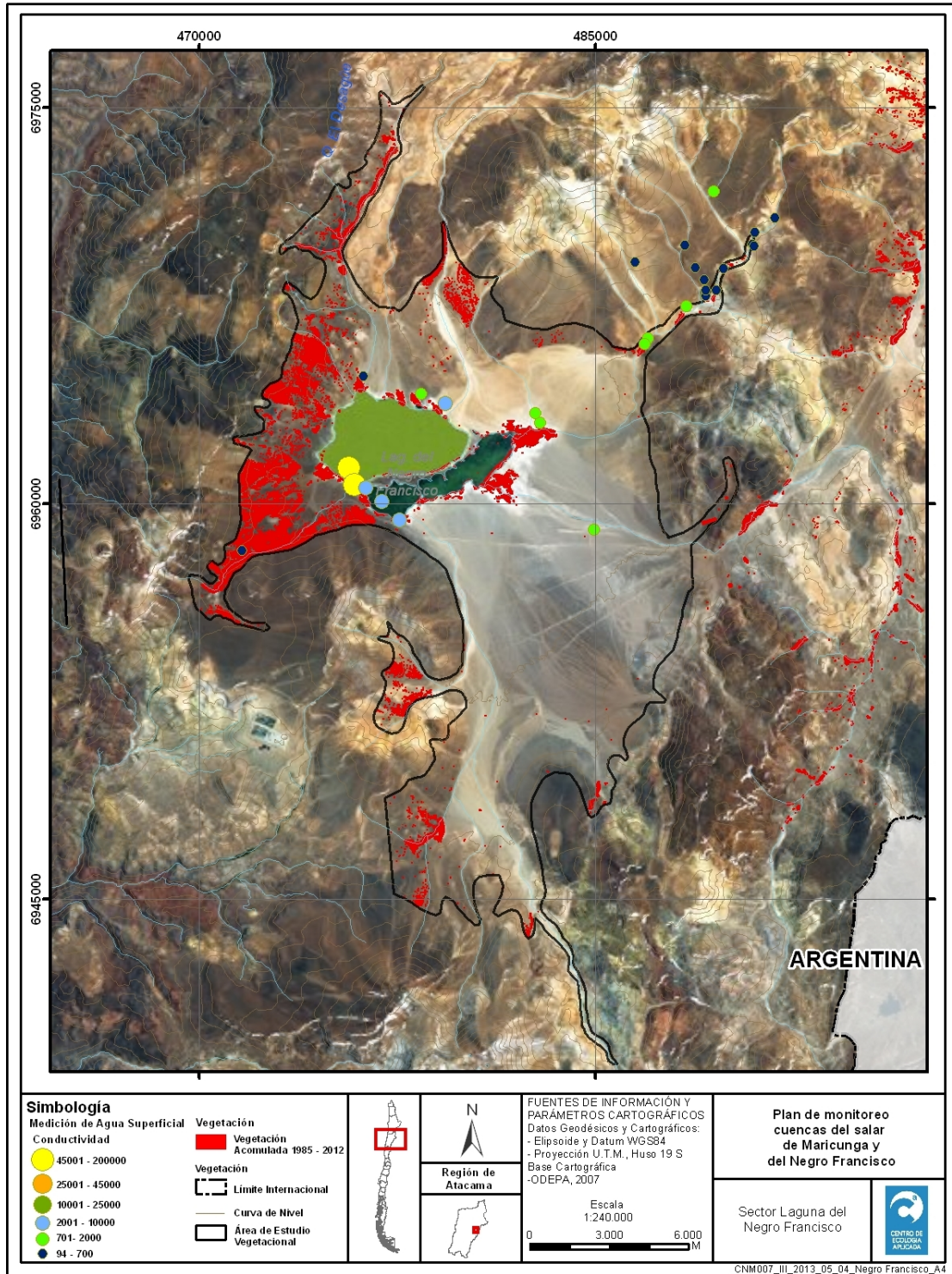


Figura 3.6: Identificación de los sistemas asociados a agua dulce y agua salada en el sector de la laguna del Negro Francisco.



MODELO HIDROGEOLÓGICO PRELIMINAR

3.2 MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA PRELIMINAR

En esta sección se implementa un modelo hidrogeológico preliminar de las cuencas del Salar de Maricunga y del Negro Francisco, que considera los aportes y demandas hídricas para un año promedio. Como primera aproximación se estudiarán dos escenarios, la situación con demandas hídricas actuales y la situación futura potencial. Para esto se utiliza el catastro de pozos actuales y potenciales presentado en la Sección 2.1 de este informe, particularmente en la Tabla 2.16 y la Tabla 2.17. Cabe mencionar que toda la información geomorfológica, climática, hidrológica, geológica e hidrogeológica, necesaria para la implementación de este modelo hidrogeológico preliminar, fue sistematizada en la Sección 2.2 de este informe, de modo que es preciso leer el capítulo 2 sobre catastro de información y revisión bibliográfica, previo a este capítulo. También, es importante mencionar, que lo que se busca con este ejercicio es identificar los descensos medios del nivel freático a escala regional, de modo de delimitar áreas que más sensibles y menos sensibles a los descensos en el nivel de agua subterránea producto de las extracciones. De ninguna forma se pretende llegar a una escala de humedal específico en este análisis.

3.2.1 Objetivos

Objetivo general

Implementar un modelo hidrogeológico preliminar que contemple todos los aportes y demandas hídricas de la zona de estudio. A partir de este modelo preliminar, identificar la información relevante de levantar para hacer un seguimiento de los sistemas que puedan estar bajo presión producto de la extracción de recursos hídricos.

Objetivos específicos

1. Elaboración de un modelo conceptual que considera todos los aportes y demandas hídricas.
2. Elaboración de un modelo numérico basado en la conceptualización del sistema.

3.2.2 Antecedentes teóricos

Ecuación que gobierna el flujo en medios porosos

Desde el punto de vista teórico, el flujo en un medio poroso es un problema complejo cuando se estudia con la ecuación de Navier-Stokes a escalas inferiores a los poros del medio. Dada esta dificultad, se han buscado leyes experimentales que representen el flujo promedio entre los poros. Particularmente, se ha mostrado que el flujo en un medio poroso ocurre a bajos números Reynolds, en donde los efectos de inercia son despreciables frente a los viscosos. Es así como en hidrogeología estos flujos se suelen representar a través de la ley de Darcy, ecuación que resulta de un balance entre el gradiente de presión del fluido y la fuerza de arrastre entre el fluido y el medio poroso, la que para un fluido incompresible en un medio poroso se expresa como:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial z}$$

donde K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} corresponden a la conductividad hidráulica de los largo de los ejes principales, h es la cota piezométrica, W es el flujo volumétrico por unidad de volumen representando los aportes y pérdida hídricas, y S_s corresponde al coeficiente de almacenamiento del suelo.

De acuerdo a esta ecuación, para representar adecuadamente el flujo en un acuífero, se debe conocer las características físicas de los estratos de suelo que conforman el acuífero, dadas por la porosidad y el coeficiente de permeabilidad, y las propiedades del fluido, dadas por la densidad y la viscosidad dinámica del fluido, características que en conjunto determinan la conductividad hidráulica (K_{ii}) y el coeficiente de almacenamiento S_s del sistema.

Descripción del software MODFLOW-2005

El software tridimensional de agua subterránea MODFLOW-2005 corresponde a un software de código libre, desarrollado para modelar el flujo tridimensional de agua subterránea en cualquier acuífero. Se publicó por primera vez en 1984 y desde esa fecha se encuentra en continuo desarrollo por el USGS (U.S. Geological Survey). Este software mediante un esquema de diferencias finitas, resuelve la ecuación de medios porosos.

Para generación de las entradas del modelo y la visualización y procesamiento de los archivos de salida de MODFLOW-2005 se utiliza mafLab (que significa MODFLOW-laboratorio). mafLab corresponde a paquete de scripts en MATLAB, de código abierto y gratuito. La ventaja mafLab es que a través de líneas de comando se especifican las características de una simulación particular, lo cual permite generar simulaciones que se reproducen fácilmente sin tener que utilizar una interfaz gráfica. Además, este entorno permite el acceso a bases de datos externas y archivos GIS, lo que facilita la integración y combinación con otros modelos.

3.2.3 Metodología

Generación de la grilla de cálculo

Para la generación de la grilla de cálculo se requiere conocer la topografía y las unidades hidrogeológicas. A continuación se detalla la información utilizada en este estudio.

Topografía

La topografía de la zona de estudio se obtuvo a partir de los DEM del USGS (United States Geological Survey). En la Figura 3.7 presenta esta información, en donde además se indica el área de modelación, la cual corresponde a los límites de relleno aluvial descritos por el Sernageomín (1999, 2000) para las cuencas hidrográficas que se consideran en el análisis, las cuales corresponde al salar de Maricunga, Piedra Pómez y laguna del Negro Francisco. La descripción completa de estos estudios de Sernageomín se entrega en la Sección 2.2 de este informe.

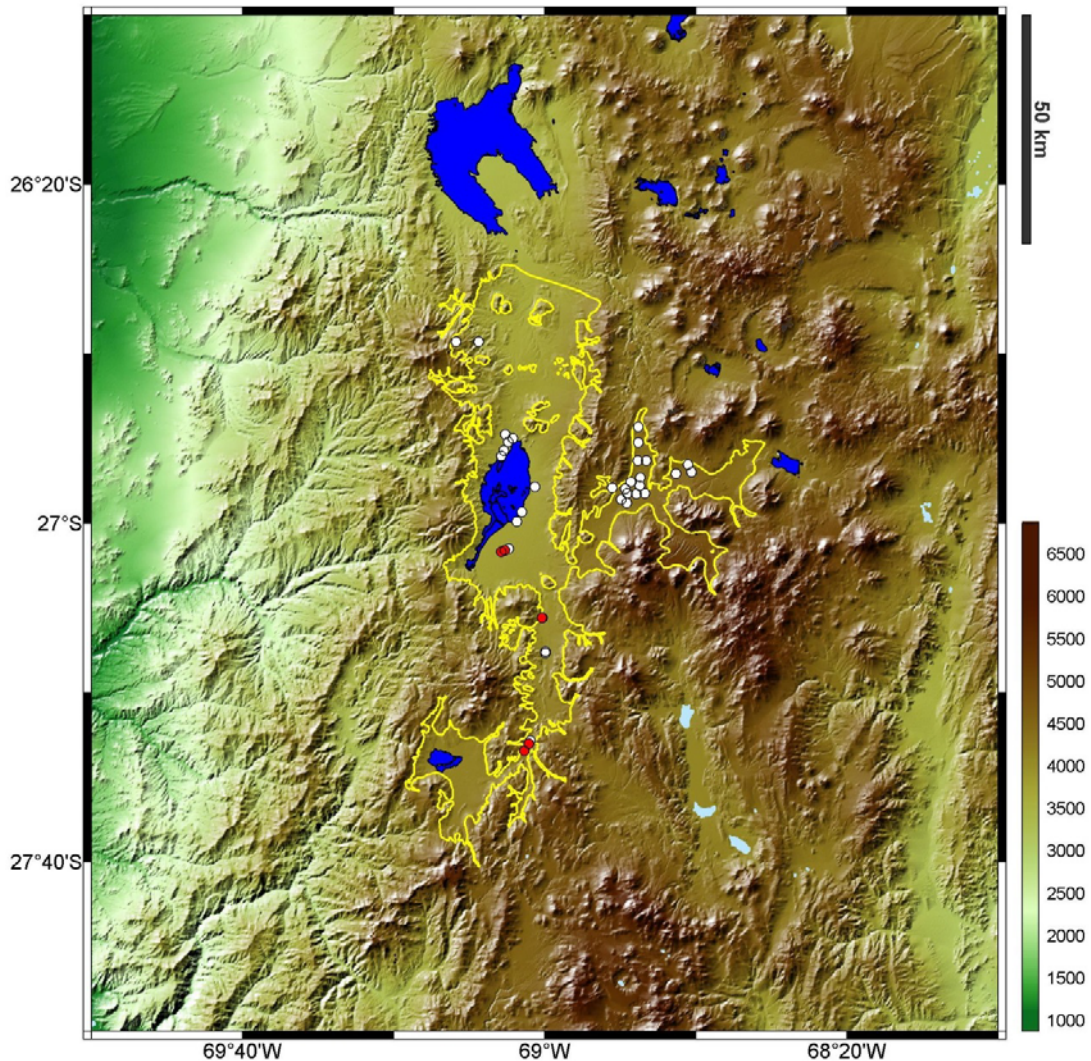


Figura 3.7: Vista en planta de la topografía de la parte alta de la región de Atacama (msnm), indicando con la línea amarilla el límite del dominio del modelo hidrogeológico. Este límite para el acuífero se obtuvo a partir del límite del relleno aluvial definido por Sernageomín (1999,2000) para las cuencas del salar de Maricunga, Piedra Pomez y de la laguna del Negro Francisco. Los círculos blancos y rojos corresponden a los 37 pozos con RCA aprobados en la zona de estudio (ver Tabla 2.14), en donde los en rojo los pozos actualmente operativos (ver Tabla 2.16), los cuales se describen en detalle en la Sección 2.1 de este estudio.

Unidades hidrogeológicas

Como se explicó en los antecedentes teóricos, junto con la topografía la información asociada a las unidades hidrogeológicas proporciona la información base para la modelación del flujo de agua subterránea. Particularmente, se requiere conocer las características físicas de los estratos de suelo que conforman el acuífero, dadas por la porosidad y el coeficiente de permeabilidad.

Como se expuso en la revisión bibliográfica (Sección 2.2 de este estudio), existen numerosos estudios relacionados con el levantamiento estratigráfico en la zona de estudio. El más completo de ellos corresponde a los mapas elaborados por el Sernageomin (1999,2000), los cuales se resumieron en la Sección 2.2. A partir de estos estudios, se tomaron las conductividades hidráulicas medias para los sectores de las cuencas del salar de Maricunga, Piedra Pómez, Ciénaga Redonda y laguna del Negro Francisco, las cuales se ajustaron manteniendo los órdenes de magnitud, para obtener los niveles del nivel freático presentados en estos estudios. Así se obtuvo las cuatro zonas de conductividad hidráulica indicadas en la Figura 3.8.

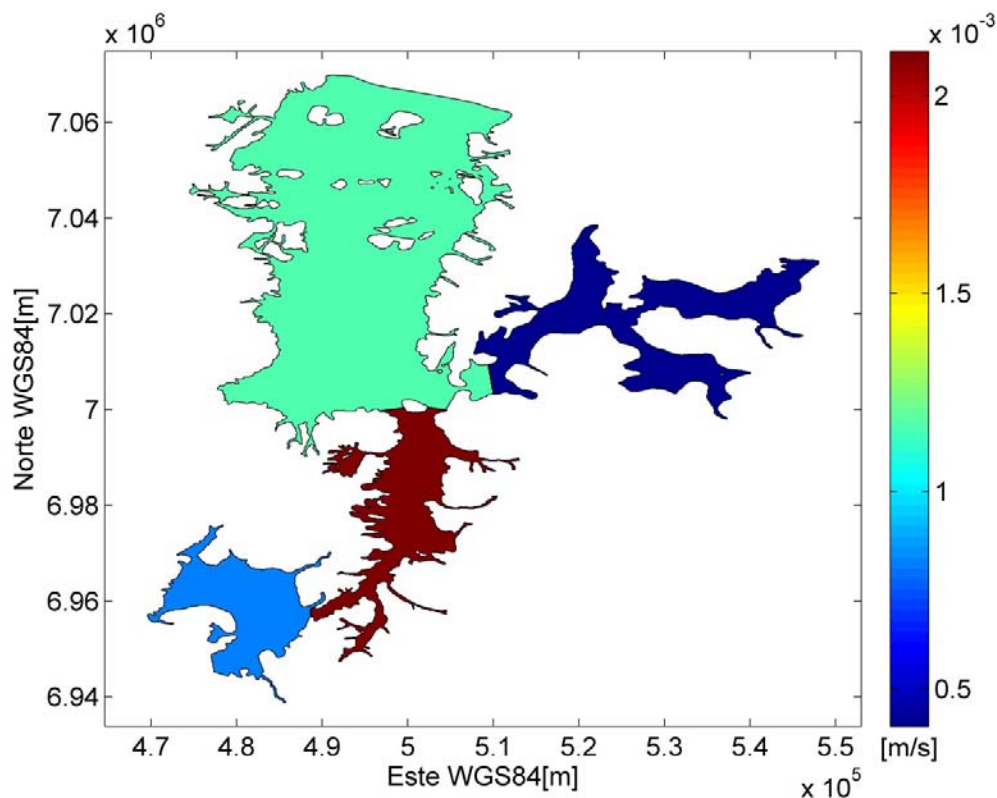


Figura 3.8: Zonas de conductividad hidráulica consideradas en el modelo hidrogeológico, asociadas a las cuencas del salar de Maricunga, Piedra Pómez y de la laguna del Negro Francisco, de acuerdo a la Tabla 2.30.

Grilla de diferencias finitas

En la Figura 3.9 se presenta la grilla de diferencias finitas utilizada en la modelación, en donde se consideró un malla bidimensional con celdas uniformes de 100 m por 100 m, y una capa de espesor variable que representa el acuífero aluvial. El tamaño de grilla se eligió buscando la resolución más grande que mantiene los mismos resultados de una más pequeña, y considerando las restricciones de estabilidad numérica dadas por el número de Courant.

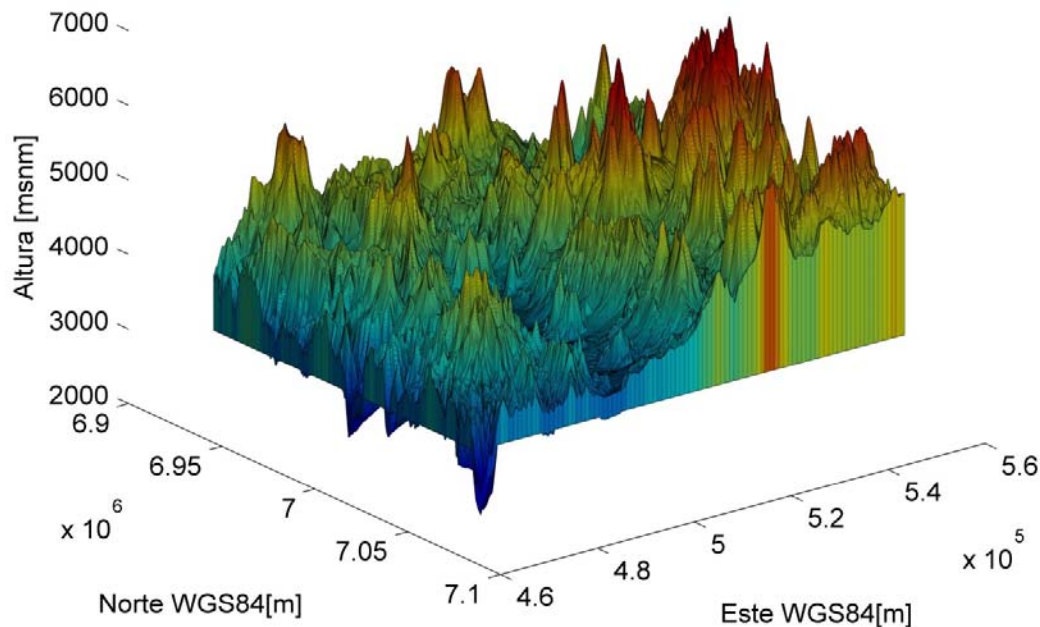


Figura 3.9: Grilla de diferencias finitas utilizada en la modelación, en donde se consideró un malla bidimensional con celdas uniformes de 100 m por 100 m, y una capa de espesor variable que representa el acuífero aluvial.

Balace hídrico y escenarios de modelación

La recarga de los acuíferos altiplánicos tiene como fuente principal la precipitación, que se infiltra en zonas de mayor permeabilidad. Para la estimación del balance hídrico en condiciones normales sin intervención antrópica, se consideró la precipitación media anual estimada en el estudio de la DGA (1998, parte IX), sintetizado en la Sección 2.2 de este informe. El valor medio estimado en este estudio corresponde a 160 mm al año. Con esta recarga se calculó una tasa de evaporación y evapotranspiración sobre los cuerpos de agua y vegas, respectivamente, de modo de cerrar el balance medio en el acuífero asociado al dominio de modelación. Esto se hizo sobre la base de considerar un acuífero cerrado (flujo nulo en los bordes del dominio), dado que se utilizó como límites del dominio el límite del relleno aluvial definido por Sernageomín (1999,2000) para las cuencas del salar de Maricunga, Piedra Pomez y de la laguna del Negro Francisco. De este modo, al modelar el acuífero en régimen impermanente sin intervención antrópica el nivel freático se mantiene constante. Esto permite entonces identificar con claridad el efecto neto sobre el nivel freático de las extracciones de agua.

Esto es, lo que se busca con estas modelación es mantener el balance hídrico, dado por:



Recarga por precipitación directa = Pérdidas por evaporación y evapotranspiración => el nivel del acuífero es constante si no se consideran extracciones de agua de origen antrópico

Con estas consideraciones relacionadas con la recarga y pérdida normal de agua en el acuífero aluvial cerrado, se modelaron dos escenarios.

Escenario actual: Condición de uso actual de los derechos de agua, para un año hidrológico normal.

Escenario potencial: Condición de uso potencial de los derechos de agua (proyectos en tramitación en el SEIA), para un año hidrológico normal.

La metodología para determinar los derechos de agua y la configuración final de pozos asociados a ambos escenarios se describió en la sección 2.1 de este estudio. Para mayor, las tablas finales asociados a las extracciones actuales y potenciales se repiten:

Tabla 3.2: Pozos de extracción indicados como operativos por la DGA Regional de Atacama y utilizados para la modelación de la condición actual.

ID	Expediente	Peticionario	Nombre Captación	Caudal Otorgado (derecho de agua) (l/s)	Caudal ejercido promedio (l/s)
P22	ND-0302-262	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	RA-2	105	33.38 (1)
P23	ND-0302-249	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	RA-1	108	42 (1)
P27	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	SP-4	100	22.83 (2)
P28	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	SP-3	100	33.76 (2)
P36	ND-0302-60	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	N° 1 Lobo Marte	100	0.25 (3)

(1) Consumo promedio mensual del año 2011, según reportes trimestrales entregados por la empresa Compañía Minera Maricunga.

(2) Consumo promedio mensual del año 2012, según reporte trimestral entregado por la empresa Compañía Minera Mantos de Oro.

(3) Consumo promedio mensual del año 2012, según reportes trimestrales entregados por la empresa KINROSS, según lo dispuesto en la Resolución Calificación Ambiental Atacama N° 130, de 18 de junio de 2009, que aprobó ambientalmente favorable el denominado proyecto Prospección Minera Lobo Marte

Tabla 3.3: Derechos de agua otorgados en el área de modelación. Escenario de modelación potencial.

ID	Cuenca	Expediente	Peticionario	Caudal Otorgado	Norte WGS 84	Este WGS 84	N° Res.	Fecha Res.	Comuna	Situación
P1	03040/Piedra Pómez	ND-0302-499	COMPAÑIA MINERA CASALE	1,02	7021309	514740	247	12/08/2008	Copiapó	A
P2	03040/Piedra Pómez	ND-0302-487	COMPAÑIA MINERA CASALE	30,00	7027286	520323	112	11/02/2002	Copiapó	A
P3	03040/Piedra Pómez	ND-0302-484	COMPAÑIA MINERA CASALE	20,00	7031199	520463	115	11/02/2002	Copiapó	A
P4	03040/Piedra Pómez	ND-0302-486	COMPAÑIA MINERA CASALE	120	7020013	517997	77	02/02/2001	Copiapó	A
P5	03040/Piedra Pómez	ND-0302-483	COMPAÑIA MINERA CASALE	120	7020988	517550	80	02/02/2001	Copiapó	A
P6	03031/Pampa de Barrancas Blancas	ND-0302-495	COMPAÑIA MINERA CASALE	43	7024691	532113	88	02/02/2001	Copiapó	A



Plan de Monitoreo Cuencas del Salar de Maricunga y del Negro Francisco

ID	Cuenca	Expediente	Peticionario	Caudal Otorgado	Norte WGS 84	Este WGS 84	Nº Res.	Fecha Res.	Comuna	Situación
P7	03031/Pampa de Barrancas Blancas	ND-0302-498	COMPAÑIA MINERA CASALE	130	7026399	531352	89	02/02/2001	Copiapó	A
P8	03040/Piedra Pómez	ND-0302-494	COMPAÑIA MINERA CASALE	120	7019992	519958	91	02/02/2001	Copiapó	A
P9	03031/Pampa de Barrancas Blancas	ND-0302-493	COMPAÑIA MINERA CASALE	30	7024392	528699	97	02/02/2001	Copiapó	A
P10	03040/Piedra Pómez	ND-0302-488	COMPAÑIA MINERA CASALE	100	7021742	520790	98	02/02/2001	Copiapó	A
P11	03040/Piedra Pómez	ND-0302-497	COMPAÑIA MINERA CASALE	100	7023597	520866	106	02/02/2001	Copiapó	A
P12	03040/Piedra Pómez	ND-0302-490	COMPAÑIA MINERA CASALE	108	7022587	518840	114	02/02/2001	Copiapó	A
P13	03040/Piedra Pómez	ND-0302-492	COMPAÑIA MINERA CASALE	95	7017993	517935	36	18/01/2001	Copiapó	A
P14	03031/Pampa de Barrancas Blancas	ND-0302-491	COMPAÑIA MINERA CASALE	47	7027272	522220	37	18/01/2001	Copiapó	A
P15	03040/Piedra Pómez	ND-0302-489	COMPAÑIA MINERA CASALE	102	7018738	516736	38	18/01/2001	Copiapó	A
P16	03040/Piedra Pómez	ND-0302-496	COMPAÑIA MINERA CASALE	30	7020029	521904	40	18/01/2001	Copiapó	A
P17	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-552	INVERSIONES Y ASESORIAS EN RECURSOS HIDRICOS S.A.	170	6985295	500114	17	16/01/2001	Copiapó	A
P18	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-556	INVERSIONES Y ASESORIAS EN RECURSOS HIDRICOS S.A.	170	6985590	500109	17	16/01/2001	Copiapó	A
P19	03022/Río de la Ola	ND-0301-458	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	2	7053171	485466	911	01/12/1999	Diego de Almagro	A
P20	03040/Piedra Pómez	ND-0302-485	COMPAÑIA MINERA CASALE	42	7034603	520424	98	16/04/1999	Copiapó	A
P21	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-265	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	45	6966134	496819	282	24/07/1992	Copiapó	A
P22	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-262	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	105	6963936	495497	283	24/07/1992	Copiapó	A
P23	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-249	MINERA BEMA GOLD (CHILE) LTDA.	108	6965478	496455	284	24/07/1992	Copiapó	A
P24	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-208	CHEVRON MINERA CORPORATION OF CHILE	62	7021451	497846	244	04/07/1991	Copiapó	A
P25	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-193	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	50	7013911	493794	658	23/11/1990	Copiapó	A
P26	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-193	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	50	7016057	494945	658	23/11/1990	Copiapó	A
P27	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	100	7007360	490446	659	23/11/1990	Copiapó	A
P28	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	100	7007709	491245	659	23/11/1990	Copiapó	A
P29	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	55	7007991	492089	659	23/11/1990	Copiapó	A
P30	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	30	7029520	490925	542	21/08/1990	Copiapó	A
P31	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	30	7031273	491938	542	21/08/1990	Copiapó	A
P32	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	25	7032087	492998	542	21/08/1990	Copiapó	A
P33	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	1	7032963	491283	542	21/08/1990	Copiapó	A
P34	03041/Salar de Maricunga	M-III-125	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO	20	7028289	490396	176	06/03/1990	Copiapó	A
P35	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-60	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	100	6992934	499452	163	27/04/1989	Copiapó	A(29297)/D-RR(30845)
P36	03041/Salar de Maricunga	ND-0302-60	MINERA ANGLO COMINCO LIMITADA	100	6992959	499353	163	27/04/1989	Copiapó	A(29297)/D-RR(30845)
P37	03022/Río de la Ola	ND-0301-831	MINERIA ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.	80	7053160	480512	35	08/02/1984	Diego de Almagro	A(29297)/P-DARH(30845)
NOMENCLATURA										
D-RR (30845) DENEGADO CON RECURSO DE RECONSIDERACIÓN (INFORMADO EN RESPUESTA 30845 de oirs-transparencia DGA)										
A APROBADO										
A (27297) APROBADO (INFORMADO EN RESPUESTA 27297 de oirs-transparencia DGA)										
D DENEGADO										

3.2.1 Resultados

Los niveles de agua subterránea obtenidos considerando el escenario sin extracciones de agua se presentan en la Figura 3.10, en donde se muestra que el gradiente hidráulico genera un flujo neto de sur a norte, desde la cuenca de la laguna del Negro Francisco hacia el salar de Maricunga, y de este a oeste, desde de la cuenca de Piedra Pómez al salar de Maricunga. Este resultado concuerda con lo descrito por los estudios de Sernageomín (1999,2000), y los de la DGA (1998), sintetizados en la Sección 2.2 de este informe.

Cabe hacer notar que el supuesto de acuífero cerrado en el extremo norte del dominio no estaría del todo correcto; dado que se mantiene un gradiente hidráulico que generaría un flujo neto hacia el norte, mostrando que probablemente el salar de Maricunga se encuentra conectado subterráneamente con el salar de Pedernales, que se encuentre más al norte, fuera del área de modelación. Dado que se desconoce el flujo neto hacia el norte, y lo que se busca es mantener el balance hídrico cerrado, para identificar preliminarmente el efecto neto de las extracciones, se mantuvo el supuesto de flujo igual a cero en el borde norte del dominio.

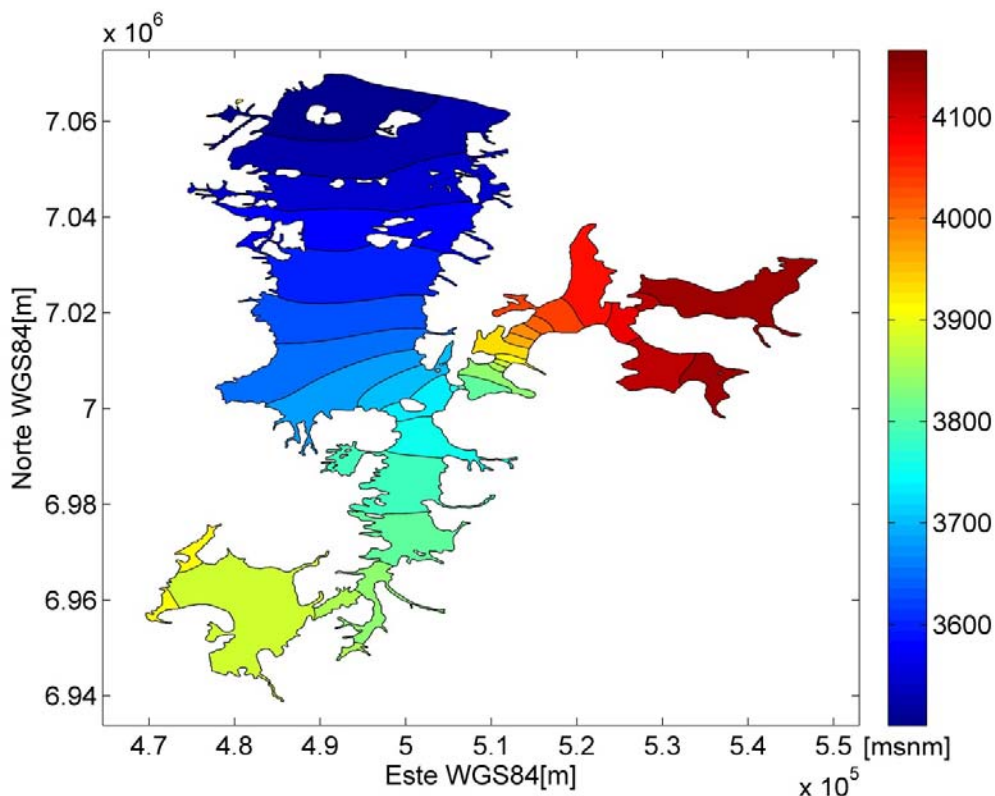


Figura 3.10: Niveles de agua subterránea obtenidos considerando el escenario sin extracciones de agua.

En la Figura 3.11 se presentan los descensos del nivel freático en el entorno de los pozos de extracción considerados para el escenario actual (5 pozos en rojo indicados en la Figura 3.7, y detallados en la Tabla 3.2). Se observa que el descenso modelado es del orden de 15 cm en el entorno de los pozos de extracción, lo cual es bastante bajo, y esto se explica en el hecho que los caudales de extracción en los pozos considerados es también bastante bajo (entre 20 y 40 l/s). Como los valores considerados en la situación actual son menores a los valores otorgados por derecho (del orden del 35% del caudal otorgado) y existe incertidumbre respecto de las extracciones, es preciso analizar con mayor detalle el escenario potencial, que muestra el escenario más desfavorable.

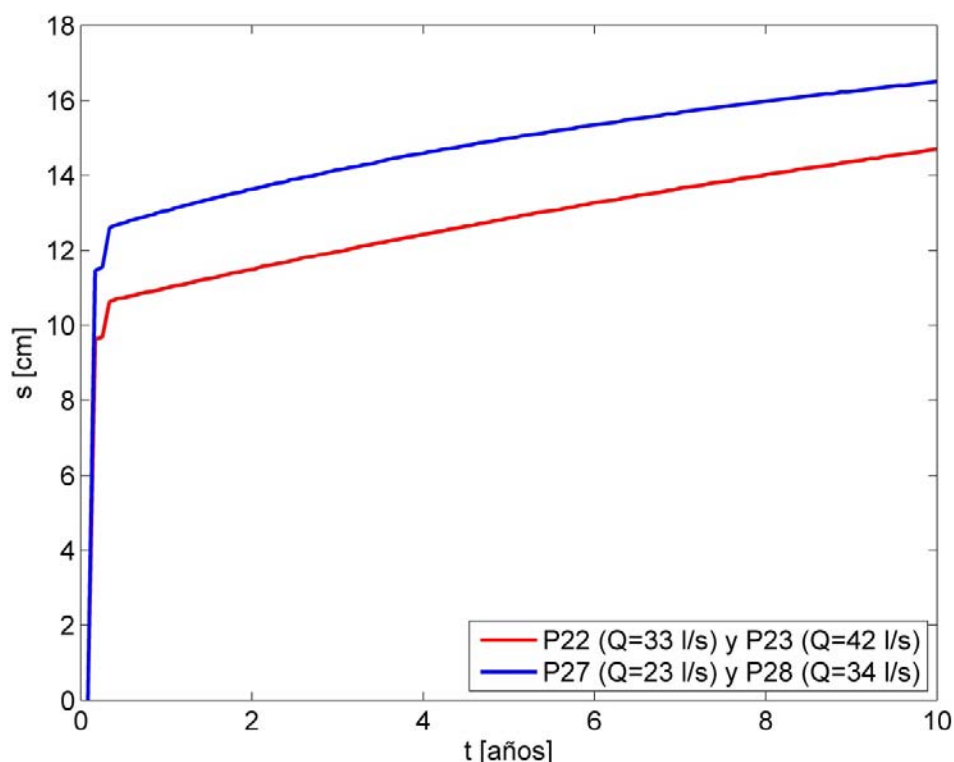


Figura 3.11: Descenso de agua subterránea en las cercanías de los pozos de extracción P22 y P23 (línea roja), ubicados en el sector de vega Pantanillo, y P27 y P28 (línea azul), ubicados en el sector del salar de Maricunga. El bajo descenso de niveles se explica en el hecho que el caudal considerado corresponde sólo al orden del 25% del derecho de agua, valor reportado por la DGA región de Atacama de acuerdo a lo explicado en la metodología de la línea base de este estudio. Estos resultados no explican la disminución en la cobertura de vegetación observada en la vega Pantanillo, de modo que se infiere que se están subestimando las extracciones de agua en el escenario actual.

Para tener mayor claridad entonces, respecto de las posibles áreas de influencia de los pozos de extracción autorizados, es preciso modelar la situación potencial y más crítica, esto es, el escenario potencial en que todos los pozos estén operando a su máxima capacidad. Este ejercicio se presenta en la Figura 3.12, en donde se muestran los descensos de agua subterránea para el escenario potencial considerando 10 años de extracciones continuas. Se observa un descenso importante, del orden de 6 m, en el sector de Piedra Pómez. También en el sector del corredor biológico, asociado sitio RAMSAR, se observa una disminución del nivel del agua subterránea del orden de 2 m.

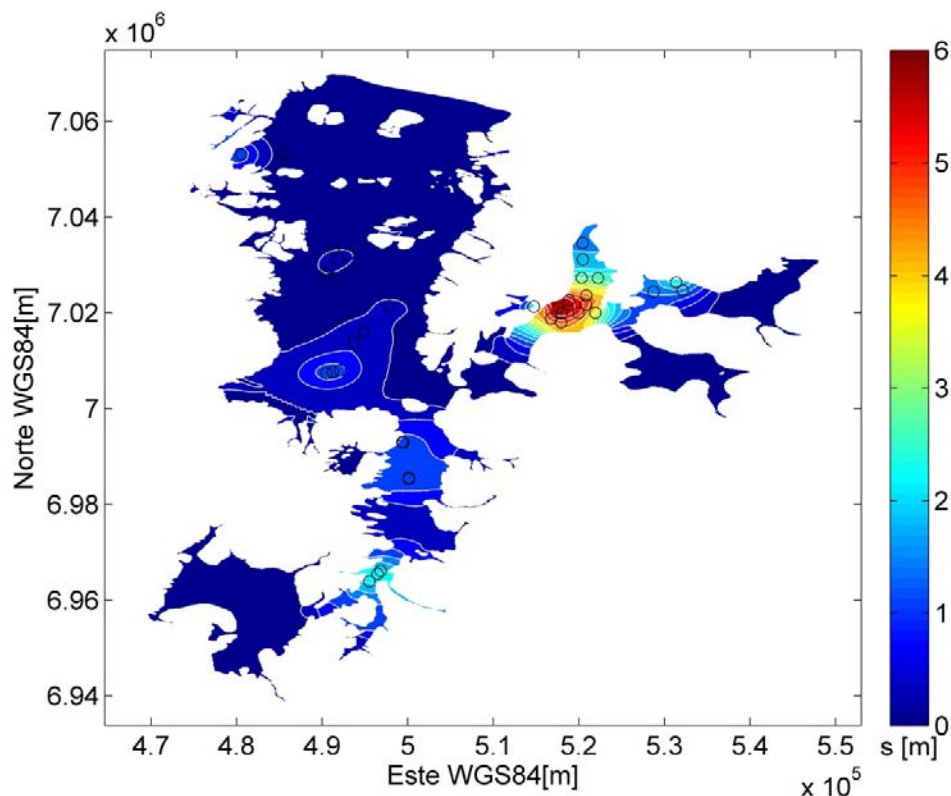


Figura 3.12: Resultados escenario potencial: Descenso de agua subterránea para todo el acuífero aluvial considerado en la modelación, después de 10 años de extracciones continuas en los 37 pozos indicados con los círculos negro. El sector de Piedra Pómez y el sector del corredor biológico en el sitio Ramsar, tendrían una afectación muy importante. Particularmente, las vegas del corredor estarían en grave peligro. El sector de la laguna del Negro Francisco, por otra parte, no presentaría una afectación muy importante, de modo que se podría definir como sitio de control.

Para mayor claridad respecto del área de influencia de la extracción de agua en el escenario potencial, en la Figura 3.13 se presenta el área afectada por un descenso mayor a 0.5 metros después de 10 años de extracciones continuas en los 37 pozos del escenario potencial. Se observa que la zona del corredor biológico (sitio RAMSAR), se podría ver afectado por una disminución mayor a 0.5 m en el nivel del agua subterránea, poniendo en grave peligro a todas las vegas identificadas y descritas en detalle en la Sección 2.3 de este informe, a saber los sectores de vega Pantanillo, vega Pantanillo

Ancho, quebrada Villalobos, quebrada Ciénega Redonda y vega Redonda (ver análisis de imágenes Landsat presentado en Figura 2.57). El sector de la laguna del Negro Francisco, por el contrario, no tendría una afectación muy importante, de modo que este sector se podría definir como un área de control más insensible al efecto de las extracciones de agua. Por otra parte, se observa también que el área de influencia de los pozos ubicados al norte del dominio no alcanzaría el borde norte, por lo que la condición de flujo cerrado al norte no estaría afectando este análisis.

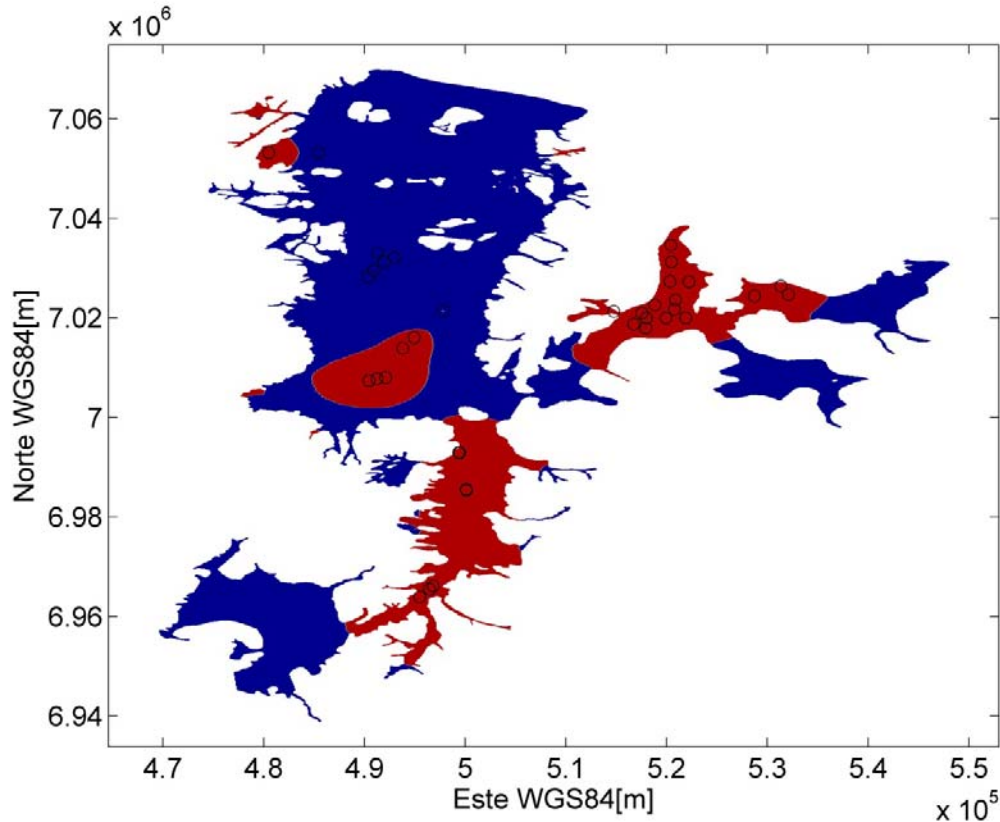


Figura 3.13: Resultados escenario potencial: Área afectada por un descenso mayor a 0.5 metros después de 10 años de extracciones continuas en los 37 pozos indicados con los círculos negro

3.2.2 Conclusiones

En esta sección se implementó un modelo hidrogeológico preliminar con el software MODFLOW-2005, para el acuífero aluvial asociado a las cuencas de Piedra Pómez, salar de Maricunga y laguna del Negro Francisco. Con este modelo se estudió el descenso del nivel de agua subterránea para la condición de uso actual de los derechos de agua, y el descenso asociado a la condición de uso potencial de los derechos de agua (proyectos aprobados en el SEIA), considerando un año hidrológico normal. El objetivo último que busca este ejercicio numérico, es el de identificar los sectores más sensibles a la extracción de agua subterránea, para así diseñar un plan de seguimiento ambiental con puntos clave de monitoreo que entreguen una alerta temprana frente a una posible afectación de los sistemas protegidos en el área de estudio.

Se mostró que los descensos del nivel freático en el entorno de los pozos de extracción considerados para el escenario actual sería del orden de 15 cm, lo cual es bastante bajo, y se explica en el hecho que los caudales considerados en el escenario actual corresponden a aproximadamente el 35% del caudal otorgado. Dada la incertidumbre que existe tanto en la modelación planteada como en el volumen real de extracción de agua en el escenario actual, el análisis se concentró en el escenario potencial y más crítico, que considera los 37 pozos actualmente autorizados para extraer agua (detallados en la Tabla 3.3).

El resultado de este escenario potencial es bastante desalentador, muestra que el corredor biológico y sitio RAMSAR en su totalidad podría verse afectado por un descenso de al menos 0.5 metros después de 10 años de extracción continua. Esto pone en grave peligro a todos los sistemas de vegas y bofedales identificados y descritos en detalle en la Sección 2.3 de este informe, en particular los sectores de vega Pantanillo, vega Pantanillo Ancho, quebrada Villalobos, quebrada Ciénaga Redonda y vega Redonda (ver análisis de imágenes Landsat presentado en Figura 2.57). Particularmente, de forma natural nace la pregunta si la afectación en la vega Pantanillo que se identificó a partir del análisis de las imágenes satelitales (ver Figura 2.55), y que se verificó en terreno (ver Figura 2.70), tendría alguna relación con los pozos P22 y P23 ubicados en sus cercanías, dado que actualmente se encuentran operativos.

Esta hipótesis de una afectación en la vega Pantanillo producto de las extracciones de P22 y P23 no se puede verificar numéricamente, el modelo sólo nos muestra una posible área de influencia, pero se requiere de evidencia experimental con levantamiento de información específica en terreno para validar esta hipótesis. Por una parte, se debe verificar que ha ocurrido un descenso en el nivel del agua subterránea, midiendo el nivel actual en vega Pantanillo y comparándolo con la data histórica. También, se debe verificar que este descenso sólo ha ocurrido en el entorno de los pozos P22 y P23, y no es un descenso general en toda el área. Es así como también se debe medir en otros puntos alejados a los pozos y comparar estos niveles con la data histórica. Con esto, se elimina la hipótesis nula, esto es, que el descenso ha ocurrido en toda el área de estudio producto de por ejemplo el cambio climático. Una vez verificado que existe un descenso del nivel de agua producto de las extracciones, entonces se debe verificar si este descenso efectivamente afecta a los sistemas vegetacionales. Para esto, se deben hacer estudios ecofisiológicos específicos a las especies vegetacionales específicas de estas vegas, para determinar los umbrales de habitabilidad respecto de las condiciones de humedad y salinidad del suelo.



En conclusión, el ejercicio numérico presentado en este capítulo nos permitió identificar las áreas potencialmente sensibles y las menos sensibles a la extracción de agua subterránea, de acuerdo a la configuración de pozos actualmente aprobados en el área de estudio. Con estos resultados, es posible entonces identificar los sectores de monitoreo para la elaboración de un plan de seguimiento ambiental, priorizando los sectores de acuerdo a su grado de vulnerabilidad respecto de las extracciones de agua subterránea, y diseñando monitoreos que permitan contestar preguntas respecto de los cambios en las variables de estado y los umbrales de habitabilidad de las especies sensibles, particularmente la vegetación. El diseño de este plan de monitoreo se presenta en el siguiente capítulo.



PLAN DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO

4 PROPUESTA DE UN PLAN DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO

A partir de la caracterización de los humedales altoandinos en el área de estudio, y de los resultados del modelo hidrogeológico preliminar, se propone un programa de monitoreo que controle principalmente los parámetros ambientales físicos, los cuales de acuerdo a la conceptualización de los sistemas controla la respuesta biológica (ver esquemas de Figura 3.1 y Figura 3.2). En este contexto, se propone un monitoreo que dos escalas de tiempo, una escala continuo, midiendo de forma permanente, y una discreto a nivel estacional. El monitoreo continuo busca caracterizar los forzantes ambientales de los humedales y de los sistemas de vegetación zonal con alta resolución temporal. Estos forzantes ambientales están dados por las condiciones atmosféricas; la humedad del suelo y el nivel del agua subterránea; la temperatura y salinidad de los cuerpos de agua superficial. El monitoreo discreto, en cambio, busca levantar información específica en terreno, con el objeto de describir las características de calidad de aguas de los flujos superficiales y subsuperficiales; las características del suelo de los humedales (humedad y salinidad, materia orgánica, textura, etc.); la distribución y abundancia de la flora y vegetación, de modo de identificar las especies sensibles; como también, la medición de variables ecofisiológicas de la vegetación para describir su comportamiento funcional, y sus umbrales de habitabilidad.

De forma resumida, parámetros ambientales a controlar corresponden a:

- Variables atmosféricas. Dada las características topográficas de la zona de estudio, se propone instalar tres estaciones meteorológicas, una en la laguna Verde, otra en el salar de Maricunga y la tercera en la laguna del Negro Francisco, como se indica en la Figura 4.2. Esta distribución de estaciones permitiría caracterizar apropiadamente la recarga del acuífero asociado a las cuencas del Piedra Pómez, salar de Maricunga y del Negro Francisco.
- Niveles del agua subterránea en los sistemas vegetacionales cercanos a los pozos de extracción: Los puntos propuestos se presentan en el mapa de la Figura 4.1.
- Conductividad y temperatura de los cursos de agua superficial y subsuperficial: Dado que existen sistemas vegetacionales asociados a agua dulce y agua salada, se debe monitorear la salinidad de los cursos de agua. Se propone instalar sensores de conductividad y temperatura en los puntos de control fluviométrico de la DGA, y en todos los cuerpos de agua identificados en el sector de estudio, los cuales se presentan en el mapa de la Figura 4.3.
- Calidad de aguas de los cursos de agua superficial: En los mismos puntos de monitoreo de conductividad y temperatura, se propone medir parámetros de calidad de agua descritos en la guía de humedales altoandinos. La red de puntos asociada se presenta en el mapa de la Figura 4.4.
- Sistemas de vegetación azonal: Dado que el sistema biológico más sensible a las extracciones de agua corresponde a los sistemas vegetacionales, se propone caracterizar la distribución y abundancia de la flora y vegetación, de modo de identificar las especies sensibles; como también, se propone la medición de variables ecofisiológicas de la vegetación para describir su comportamiento funcional, y sus umbrales de habitabilidad. Los puntos de monitoreo corresponden a los sistemas de vegetación azonal indentificados en la Sección 2.3, estos puntos que se indican en la Figura 4.5.

A continuación se presentan las las metodologías y frecuencias de muestreo.

4.1 Red de monitoreo atmosférico

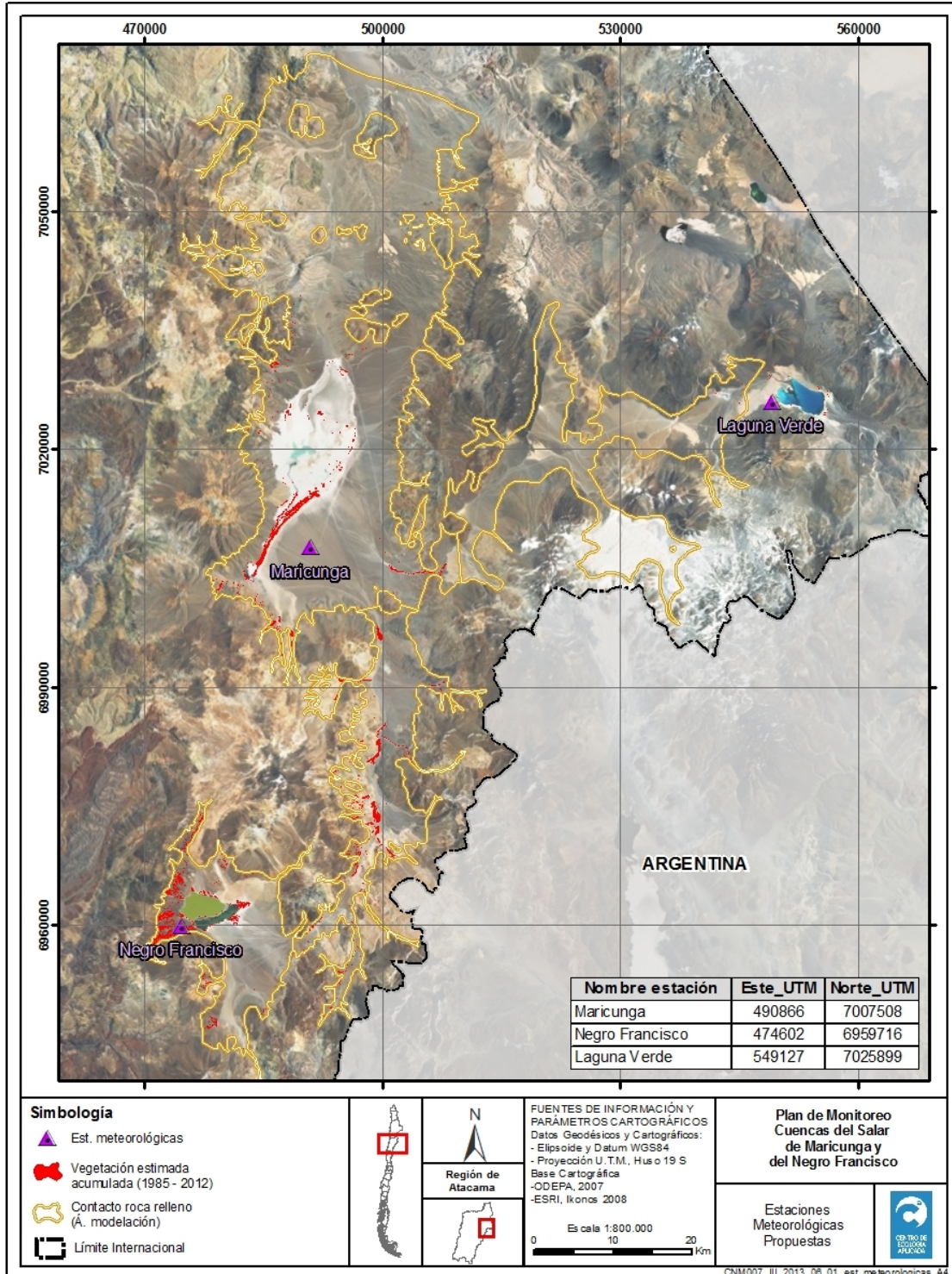


Figura 4.1: Red de monitoreo atmosférico.

Se propone instalar las tres estaciones meteorológicas automáticas detalladas en la Figura 4.2, las que deberían enviar datos en tiempo real vía antena satelital por las dificultades de acceso durante el invierno y como medida de respaldo de los datos.

Los sensores de estas estaciones deben muestrear de forma automática cada 30 segundos y los datos deben ser almacenados como promedios cada 5 minutos. El almacenamiento y procesamiento inicial de los datos es a través de un Data-logger CR1000, Campbell Sci. La alimentación eléctrica es a través de un panel solar. En la **Error! Reference source not found.** se presentan los detalles de la instrumentación a utilizar.

Tabla 2. 1: Instrumentación estación meteorológica Campbell.

Equipo	Modelo	Marca
Datalogger	CR1000	Campbell Sci.
Presión atmosférica	Setra 278 Barometer (600-1100hPa)	Campbell Sci.
T° y RH	HMP60-L11	Campbell Sci.
T° y RH accesories: RM Young 6-Plate Gill Solar Radiation Shield	41303-5A	RM Young
Anémotro y veleta	Alpine Wind Monitor 05103-45	RM Young
Right Angle Mounting Kit (attaches one sensor to crossarm)	CM220	Campbell Sci.
NU-Rail Crossover Fitting	17953	Campbell Sci.
Sensor Mounting Kit	CM216	Campbell Sci.
Rain Meter	TE525WS-L	Campbell Sci.
Rain Meter adapter for snowfall	CS705	Campbell Sci.
Mounting pole for Rain meter	CM300	Campbell Sci.
Short Leg Kit	-PS	Campbell Sci.
Ethernet adapter and memory expander	NL115	Campbell Sci.
Pyranometer	Li 200X	Li-Cor
Pyranometer accesories. LI-COR Leveling Base (requires CM225)	LI2003S	Li-Cor
Pyranometer accesories. Solar Sensor Mounting Stand	CM225	Campbell Sci.
Rod Insertation Guide Tool	CS650G	Campbell Sci.
Solar Panel	SP20	Campbell Sci.
Power Source	12V PS100	Campbell Sci.

4.2 Red de monitoreo del nivel del agua subterránea

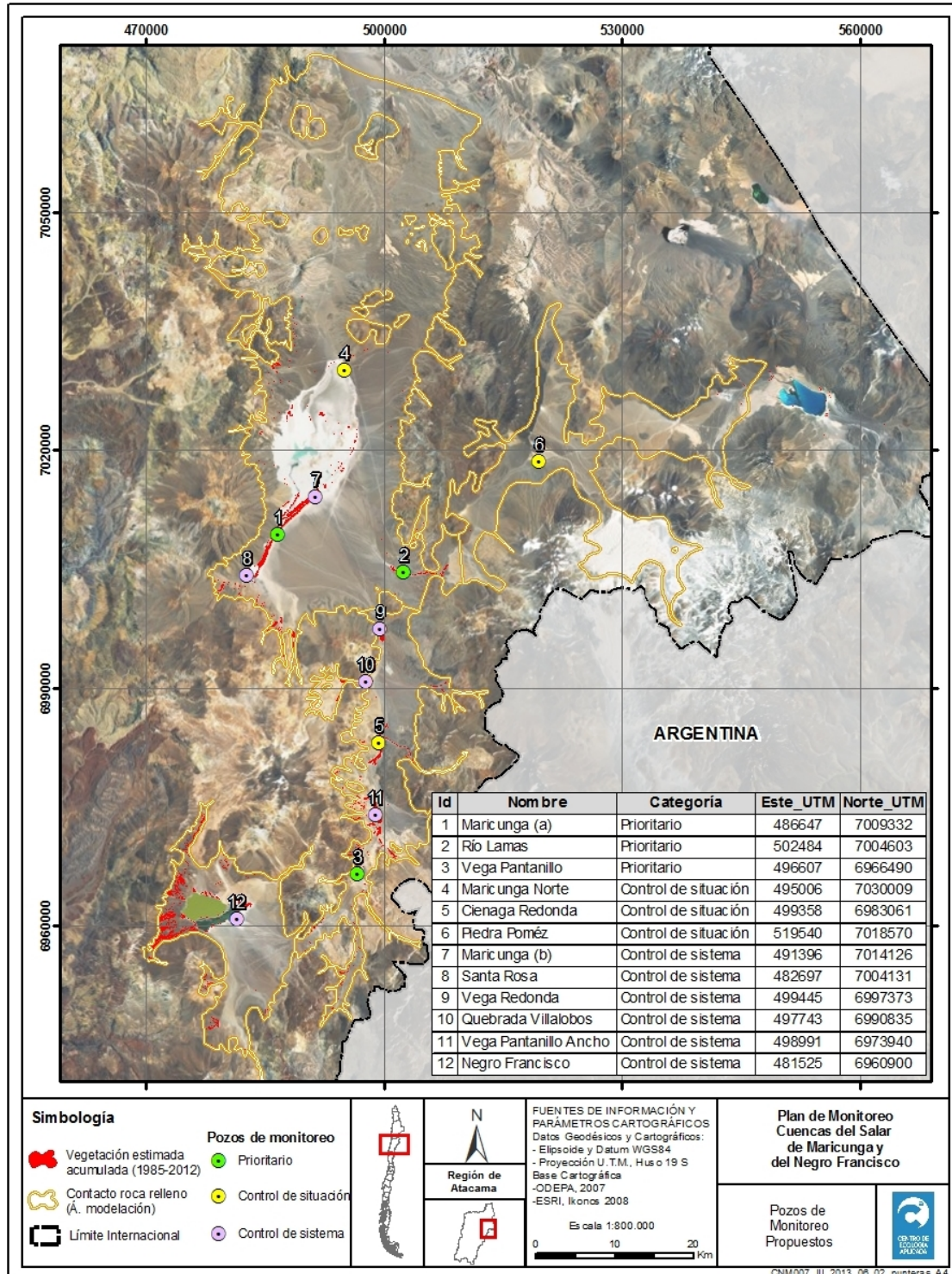


Figura 4.2: Red de monitoreo del nivel del agua subterránea.

Para el monitoreo del nivel de agua subterránea, se podrían instalar sensores HOBO U20 de temperatura y presión en pozos (“punteras”) de observación almacenando datos cada 1 hora. Estos pozos se deben ubicar en los puntos cercanos a los sistemas vegetacionales como se indica en la Figura 4.1. En este mapa se indica además un sistema de priorización, pensando en que los pozos de observación podrían instalarse en distintas etapas. Como mínimo se debe instalar los indicados con círculos verdes como prioritarios, seguidos por los de amarillos (denominados control de situación). Finalmente los del control del sistema (círculos morados en la Figura 4.1), corresponden a puntos en donde de acuerdo a los resultados preliminares del modelo, no ocurriría un descenso importante en los niveles de agua subterránea producto de la configuración de pozos actualmente aprobados, de modo que serían sistema de control para verificar si los cambios que se observan en los otros pozos responden a extracciones de agua o simplemente existe un descenso producto de un cambio climático a nivel regional.

4.3 Red de monitoreo asociado al control de la salinidad de los sistemas.

Se propone instalar sensores de conductividad y temperatura en los puntos de control fluviométrico de la DGA, y en todos los cuerpos de agua identificados en el sector de estudio, los cuales se presentan en el mapa de la Figura 4.3. Para esto se propone utilizar los sensores HOBO U24 de conductividad y temperatura, los que deberían almacenar datos promedio cada 1 hora.

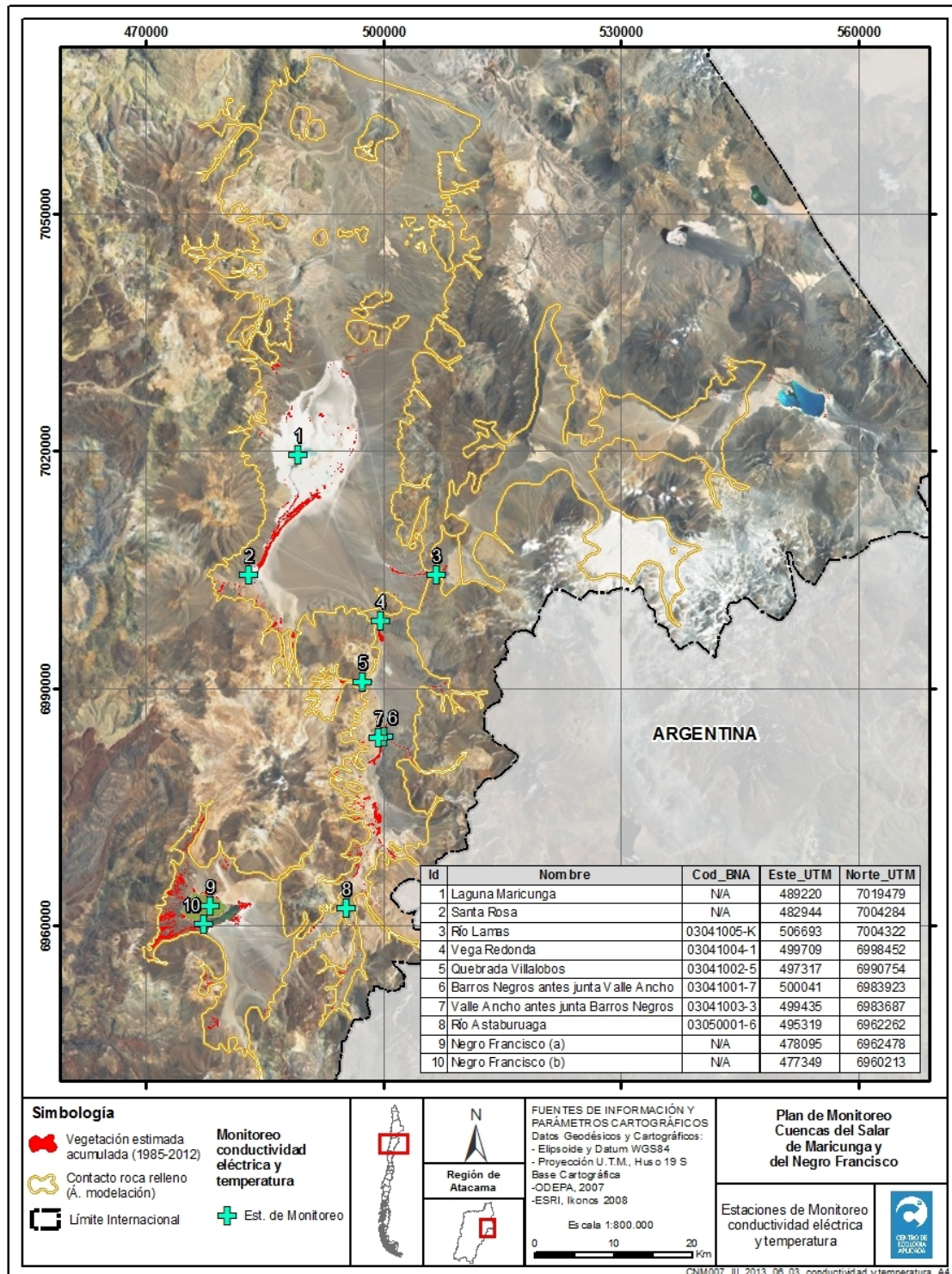


Figura 4.3: Red de monitoreo asociado al control de la salinidad de los sistemas.

4.4 Red de monitoreo de calidad de aguas

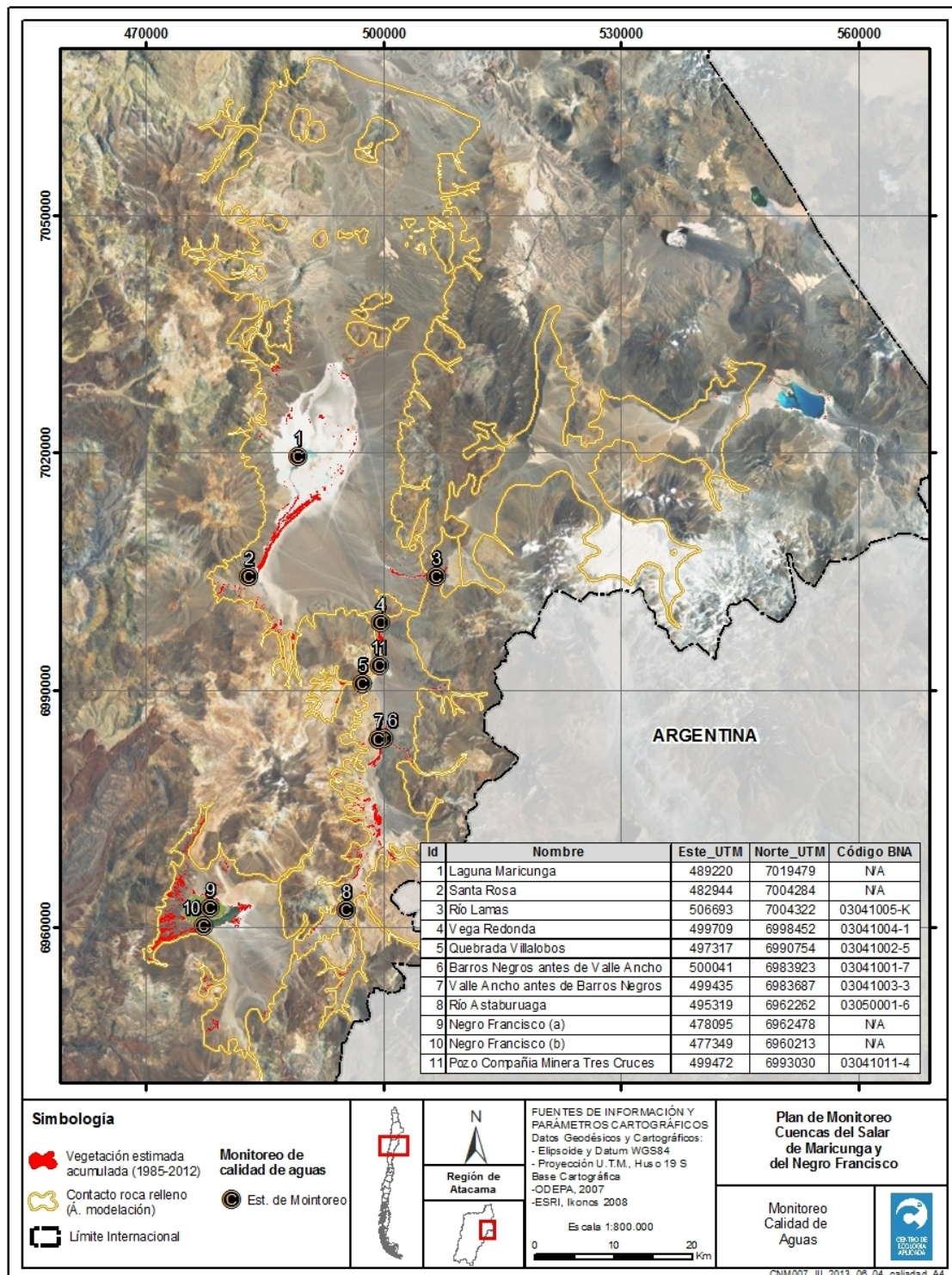


Figura 4.4: Red de monitoreo de calidad de aguas.

En los mismos puntos de monitoreo de conductividad y temperatura, se propone medir los parámetros de calidad de agua descritos. La red de puntos asociada se presenta en el mapa de la Figura 4.4. Para el análisis de calidad de aguas se debe utilizar como guía indicativa el documento “Guía para la conservación de Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos” (MMA, 2011). La toma de muestras y preservación de los parámetros de calidad de agua, se debe podría realizar por ejemplo de acuerdo al procedimiento general de muestreo PGL-13 del Laboratorio SEASA, el cual está basado en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005 y las Normas Chilenas NCh411/1.Of96, NCh411/2.Of96, NCh411/3.Of96, NCh411/4.Of97 y NCh411/6.Of98.

4.4.1 Métodos de muestreo de agua superficial

Para la toma de muestra se deben usar guantes para evitar la posible contaminación de la muestra. La toma de muestras para calidad de agua superficial, se realizará por debajo de la superficial del agua (a 50 cm de la superficie aproximadamente), introduciendo de manera invertida el contenedor de muestreo en el curso de agua. En el caso de que el curso de agua presente una profundidad de la columna de agua que no permita introducir el contenedor para coleccionar la muestra, ésta se coleccionará mediante una jeringa o bomba de succión trasvasijando la muestra a un contenedor de un volumen que permita homogeneizar el volumen total para llenar los contenedores de muestreo.

4.4.2 Medición de parámetros in situ

Debido a que algunos parámetros de calidad de agua, sufren rápidamente variaciones en su composición, es necesario determinarlos en el momento del muestreo. Estos parámetros son: temperatura, pH, concentración de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, salinidad y potencial redox.

La mediciones de estos parámetros se realiza con un instrumento telemétrico multiline, siguiendo su instructivo de uso, mantención y verificación y se registra en un formulario de terreno. Previamente, el instrumento debe ser verificado y dichas verificaciones de los distintos sensores serán registradas en sus formularios correspondientes.

4.4.3 Toma de muestras para análisis físico-químicos

Para realizar la toma de muestra para análisis físico-químicos, se siguen los siguientes pasos:

- Se enjuaga tres veces el envase (generalmente de plástico o vidrio) con el agua de la fuente, previo a la recolección de la muestra, siempre que la botella de muestreo no esté provista de preservante.
- Se sumerge de manera completa e invertida el contenedor de la muestra y se toma la muestra en contracorriente en la capa sub-superficial. El contenedor debe ser llenado completamente y cerrado de tal manera que no quede aire sobre la muestra.
- En caso de cuerpos de agua con poca profundidad en la columna de agua, la toma de muestra se efectúa con una jeringa de 60 cc o con una bomba de succión,



- ambientada previamente con el agua del propio cuerpo de agua, agregando la muestra a un contenedor único hasta que se complete el volumen necesario.
- Posteriormente la muestra se almacena y preserva (generalmente la muestra se refrigerada a $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$) para ser enviada al laboratorio.
 - El caso del sulfuro, para preservar, se agregan 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL; agregará NaOH hasta un pH >9.
 - La turbidez se analiza bien en el mismo día o en caso de no poder realizarse el análisis en el mismo día, se guarda refrigerada en oscuridad.
 - En el caso de la clorofila, la preservación se hace a $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ en oscuridad.
 - En todo caso se utiliza un testigo de temperatura, que se llena completamente y se trata como una muestra más a modo de poder realizar la trazabilidad de temperatura durante el muestreo, transporte y recepción de muestras en el laboratorio.

4.4.4 Toma de muestras para nutrientes nitrogenados y fosforados

Para la toma de muestra para el análisis de amonio, se filtra y analiza lo antes posible la muestra, preferentemente inmediatamente después de la toma de la muestra. En cuanto a la toma de muestra para análisis de los nutrientes nitrato y nitrito, se filtra lo antes posible y posteriormente se refrigera. Para la toma de muestra para el análisis de fósforo total, luego de tomar la muestra directamente de la fuente, se agrega H_2SO_4 hasta un pH < 2. En la toma de muestra para análisis de fósforo de ortofosfato, se filtra la muestra una vez tomada y se refrigera. En este caso el envase a utilizar será de vidrio enjuagado con HNO_3 1+1.

4.4.5 Toma de muestras para el análisis de metales

Para la toma de muestra de agua para análisis de metales en general, el envase a emplear es de plástico o de vidrio, enjuagado con HNO_3 1+1. En caso de la fracción disuelta, la muestra debe ser filtrada inmediatamente en el sitio de muestreo y posteriormente se adicionará el preservante para el análisis (1 mL HNO_3 al 50% por cada 1000 mL de muestra). En el caso especial del boro se preservará con 2 mL de HNO_3 al 50% por cada 1000 mL de muestra.

4.4.6 Transporte de muestras al laboratorio

Con el objetivo de mantener adecuadamente las propiedades de cada muestra, éstas deben ser protegidas de manera que no pierdan parte del contenido o las características durante el transporte. Para ello, las muestras se deben mantener frías y protegidas de la luz.

En el momento de enviar las muestras al laboratorio, se ordenan según la preservación o el análisis y además se verifica que estén todas las muestras tomadas, que estén todos los contenedores etiquetados correctamente y se rellena el formulario de cadena de custodia para las muestras de agua. Luego de eso, se embalan protegiéndolas de luz y enfriándolas con hielo, de manera que las $\frac{3}{4}$ partes del contenedor se encuentren bajo



hielo para asegurar que la temperatura de las muestras se encuentre entre 4 ± 2 °C y posteriormente se envían al laboratorio.

4.4.7 Análisis de las muestras

El análisis de las muestras que se poría realizar en el Laboratorio SEASA, acreditado por el INN, siguiendo los métodos establecidos por el EPA (Standard Methods for the Examination and Water of Wastewater, 21st Edition, 2005). El listado de parámetros se entrega en la Tabla 2. 2.

Tabla 2. 2: Lista de parámetros y métodos utilizados para el análisis de calidad del agua.

Temperatura del agua
pH
Conductividad Específica
Salinidad
Oxígeno Disuelto
% de Saturación de Oxígeno
Dureza
Iones mayoritarios (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO ₄ , HCO ₃ , CO ₃)
Sólidos Totales Disueltos
Sólidos Totales Suspendidos
Sílice
Alcalinidad Total
Ortofosfato
Fósforo Total
Nitrito
Amonio
Nitrato
Nitrógeno Orgánico Total
Metales disueltos (As, B, Cd, Cu, Fe, Hg, Li, Pb, Zn)
Sulfuro
Flúor

4.5 Red de monitoreo de sistemas vegetacionales azonales

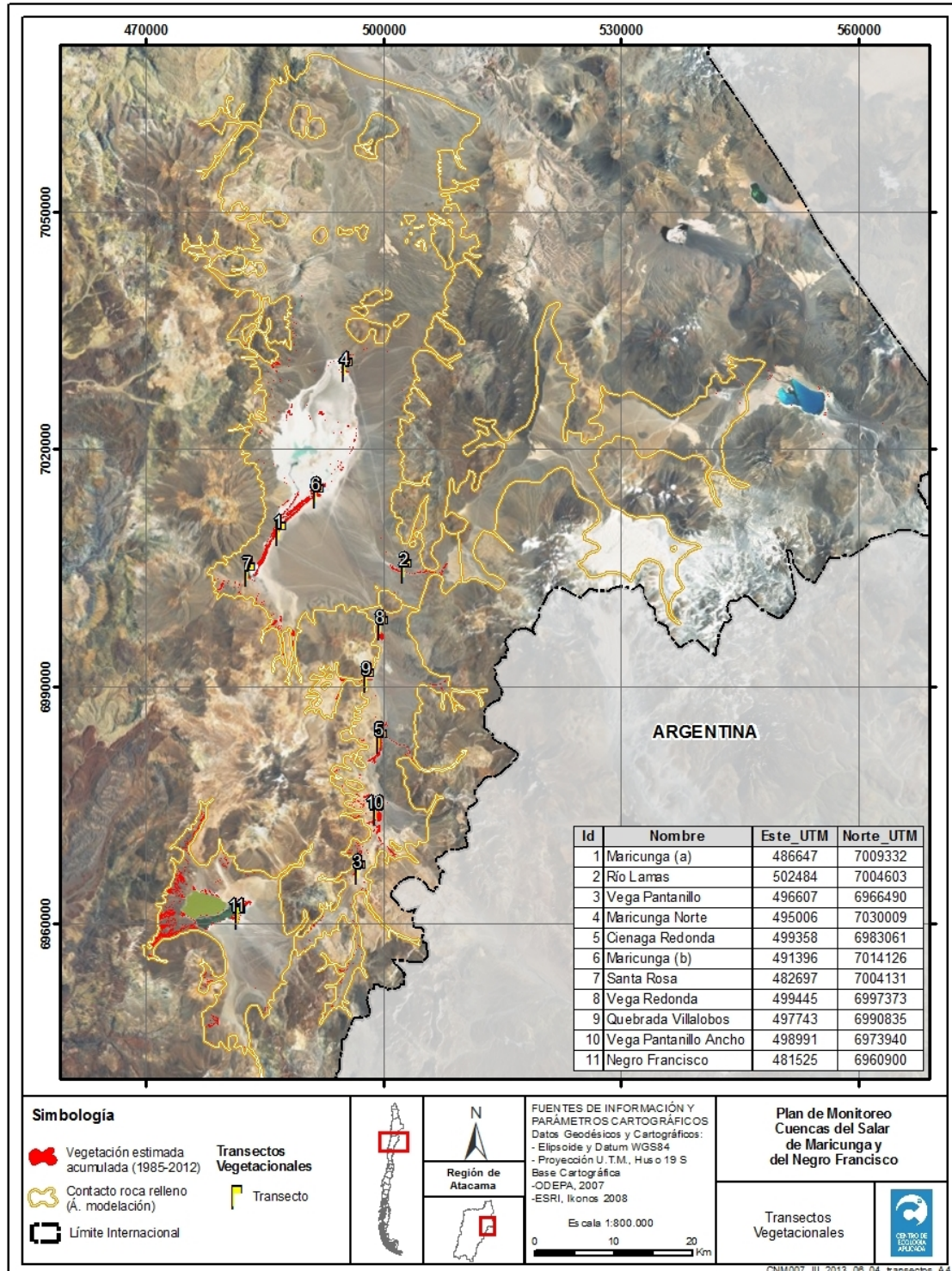


Figura 4.5: Red de monitoreo de los sistemas vegetacionales azonales.

Los puntos de monitoreo de las formaciones vegetacionales azonales se indentificaron en la Sección 2.3, lo que se se indican en la Figura 4.5. Las formaciones vegetacionales en el Sector norte del PN Nevado de Tres Cruces son propias de la Estepa Desértica de los Salares Andinos; mientras que el sector Sur del Parque pertenece a la formación de Estepa Altoandina Cordillera Doña Ana. Por otro lado en el sector de lagunas Bravas, Laguna Verde, Pampa de Barrancas Blancas, Laguna Escondida y Salar Wheelwright se tiene la formación vegetacional de Estepa Andina según la clasificación a nivel regional de Ahumada y Faúndez (SAG, 2009). A nivel local es posible reconocer formaciones de tipo Vegas, Bofedales y Pajonal Húmedo (o hídrico).

Para la caracterización de la vegetación, se utilizara el método Braun-Blanquet (Mueller-Dumbois y Ellenberg 1974), estimándose con abundancia, cobertura y participación (%), las especies dominantes y codominantes de la formación de vegetación como se señala en las Guías de Evaluación “Vegetación y Flora Silvestre (2010) y para “Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos (2011).

Se caracterizaran variables hídricas (contenido de humedad y salinidad del suelo, profundidad del agua subterránea, etc.) en los sistemas vegetacionales, realizándose un seguimiento de parámetros fisiológicos (fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática y eficiencia en uso del agua) para la implementación de la detección temprana de desviaciones en el funcionamiento de los humedales a perturbaciones antrópicas

4.5.1 Monitoreo de Flora y Vegetación

En cada sitio de muestreo se debe localizar al azar unidades muestrales o transectos lineales de una longitud de ca. 15 m. Para cada una de ellas se calcula el porcentaje de cobertura absoluta de las especies. Se registran los taxa que interceptaran a una huincha en puntos ubicados cada 0,10 m de distancia, proyectando en cada punto una línea perpendicular al transecto y al suelo. Asumiendo que la probabilidad de que un taxa intercepte la huincha es función de la cobertura (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974, “método del intercepto de puntos”) el cálculo para las coberturas sería el siguiente:

$$\text{Cobertura absoluta de especie (\%)} = \frac{\text{Total de veces que una especie intercepta la huincha en un punto definido en un transecto}}{\text{Nº de puntos de intercepción por transecto}} \times 100$$

$$\text{Cobertura absoluta del transecto (\%)} = \text{Sumatoria de las coberturas absolutas de todas las especies presentes en un transecto determinado}$$

$$\text{Promedio de cobertura absoluta del sector (\%)} = \frac{\text{Sumatoria de los porcentajes de cobertura absoluta de todos los transectos de un sector}}{\text{Nº de transectos por sector}}$$

Los datos se analizarán utilizando el índice de similitud de Bray–Curtis, con este análisis se pueden identificar la similitud entre los transectos y sectores. Además, análisis MDS y SIMPER para determinar cuál(es) especie(s) son la que entrega la similitud y disimilitud.

4.5.2 Caracterización y variables hídricas del suelo

Simultáneamente a la caracterización de la vegetación, en cada sitio de muestreo se deben realizar transectos lineales de longitudes variables (entre ca. 5 a 15 m lo que dependerá de las características de cada tipo de vegetación), evaluando el perfil superior en los suelos en cuanto al contenido de humedad, temperatura y salinidad utilizándose un sensor portátil “GS3 Pro-Chek” de Humedad, Temperatura y Salinidad (Decagon, USA. <http://www.decagon.com/products/soils/volumetric-water-content-sensors/>).

4.5.3 Monitoreo de calidad de suelos

Para evaluar el contenido de humedad del suelo o otros parámetros indicados en la Tabla 2. 3, se realizan calicatas de 60 cm de profundidad por sitio de muestreo, de la que se toman muestras de suelo cada 30 cm. En cada perfil se debe tomar al menos 1 kg. de suelo, guardándose en bolsas de polietileno para evitar la pérdida de agua de la muestra y pesadas en una balanza para obtener su peso fresco.

Posteriormente, deben ser secadas en estufa a 105 °C durante 24 horas y pesadas para obtener su peso seco. La diferencia entre ambos pesos es el contenido de agua para ese estrato. El contenido gravimétrico de agua de suelo (CGA) debe ser estandarizado con la siguiente relación: $CGA = [(Peso\ fresco - Peso\ seco) / Peso\ seco] \times 100$.

Tabla 2. 3: Parámetros del suelo que se miden en laboratorio.

Materia Orgánica	%	Pérdida por ignición a 550°C
Textura-clase textural	%	Método hidrómetro
Conductividad eléctrica	dS/m	Celda conductivímetro
Permeabilidad	cm/seg	Permeámetro de nivel de agua constante
Nutrientes	mg/L	Protocolo análisis de suelo. SAG 2007

4.5.4 Caracterización y variables ecofisiológicas en plantas

Es posible usar caracteres-parámetros anatómicos, morfológicos y fisiológicos en plantas para investigar respuestas ambientales. Entre otros, el tamaño y la densidad de los estomas para el control de la pérdida de agua por transpiración (conductancia estomática) y la eficiencia en el uso del agua (ganancia de carbono en función de la pérdida de agua) han sido propuestos como caracteres y parámetros claves para estudiar estas respuestas (Medrano et al 2007; Nicotra et al 2010).



**Fotosíntesis (Asimilación CO₂), Transpiración (E) y Conductancia Estomática (gs).
[IRGA (Analizador Infrarrojo de Gas) LI-6400 marca LI-COR <http://www.licor.com>]**

Para caracterizar el intercambio gaseoso de Fotosíntesis (A) y Transpiración (E) se realizan mediciones con un IRGA LI-6400 (Analizador Infrarrojo de Gases). Para comparar entre especies las respuestas fotosintéticas y la eficiencia en el uso del agua y además, en una misma especie a lo largo de los transectos lineales de la vegetación, se realizaran curvas de Luz (PAR) vs Fotosíntesis (Asimilación de CO₂). Las hojas de plantas (especies) seleccionadas, son introducidas en una “pinza” o cámara de medición obteniéndose tasa de Fotosíntesis (**A**), Transpiración (**E**) y Conductancia Estomática (**g**).

El uso del agua a nivel foliar puede ser estimado como cocientes de estos parámetros, como:

Eficiencia de la Transpiración: Asimilación de CO₂/Transpiración (**A/E**)

Eficiencia Intrínseca en Uso del Agua: Asimilación de CO₂/Conductancia Estomática (**A/g**)

Conductancia Estomática [Porómetro SC-1 (Decagon, USA) <http://www.decagon.com/>]

Se caracteriza la Conductancia Estomática en las hojas de especies en que no sea posible utilizar el equipo de intercambio de gases o IRGA LI-6400 (Li-Cor, USA). El procedimiento es similar al descrito y se basa en colocar la hoja de las plantas en una “pinza-cámara” de medición y obteniendo en por cerca de 1 min., tasas estacionarias de conductancia estomática, utilizándose el mismo número de réplicas por especie (N=5).

Los valores (datos) son descargados posteriormente y analizados al término del terreno. En ambas metodologías se repete para cada especie o plantas de una misma especie, en al menos 5 hojas de 4 a 5 plantas diferentes que compartan en el ambiente las condiciones hídricas o salinas del terreno. Los resultados pueden ser analizados utilizando estadísticos SigmaPlot y SigmaStat (Systat Inc.).

En el caso particular del río Lamas, los transectos se deberían ubicar perpendiculares al curso o cuerpo del agua, separados entre sí por 20 m de distancia. Debido a la distribución heterogénea de algunas especies y/o tipos de vegetación, adicionalmente, se debería realizar un rastreo con recorridos libres con el objeto de registrar especies no determinadas por los transectos antes descritos, para incluirlas en el listado florístico, estimar la riqueza de especies, caracterizar las condiciones hídricas del suelo en que se encuentran y además, caracterizar los parámetros y variables ecofisiológicas descritas de intercambio de gases.



5 REFERENCIAS

ACEITUNO, PATRICIO. 1993. Aspectos generales del clima en el Altiplano sudamericano. En "Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos. Arica-Chile, 19-21 octubre 1993", Vicerrectoría Académica y Estudiantil, U. de Chile, 390 pp.

AHUMADA, M. y FAÚNDEZ, L. 2009. Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT). Ministerio de Agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. 118 p.

AMEC. Jun 2011. Proyecto Reinicio Y Expansión Del Proyecto Lobo Marte. Línea Base. Elaborado para KINROSS GOLDCORPORATION.

CONAMA – CEA. 2007. Protección y manejo de humedales integrados a la cuenca hidrográfica.

BODELÓN O. G., BERNUÉS M., BALTANÁS A. & MONTES C. 1994. Conductividad Y Salinidad En Los Ecosistemas Acuáticos Del Parque Nacional De Doñana (SO, ESPAÑA). *Limnética*, 10 (2): 27-31 (1994)

BORGEL, R. 1983. Geomorfología de Chile, Tomo II. Colección Geografía de Chile. Santiago, Instituto Geográfico Militar de Chile.

CASELLES, V., ARTIGAO, M., HURTADO, E., COLL, C., BRASA, A. 1998. Mapping actual evapotranspiration by combining Landsat TM and NOAA-AVHRR images: Application to the Barrax area, Albacete, Spain. *Remote Sensing of Environment*, 63:1-10.

CARMONA, F.; RIVAS, R.; OCAMPO, D.; SCHIRMBECK, J. Y HOLZMAN, M. 2011. Sensors for the measurement and validation of hydrological variables at local and regional scales from energy balance. *Aqua-LAC*, 3 (1): 26 - 36.

CEDREM. 2010. Estudio de Conectividad Biológica Inter Áreas Parque Nacional Nevado Tres cruces. Elaborado para Compañía Minera Casale.

CONTRERAS, JUAN PABLO, 2002. Norte de Chile: conservación de humedales altoandinos para un desarrollo productivo sustentable. *Revista Ambiente y Desarrollo*. Vol XVIII, N° 2-3-4, 125-131.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF), MINISTERIO DE AGRICULTURA. Unidad de Gestión de Patrimonio silvestre. 1997. PLAN DE MANEJO PARQUE NACIONAL NEVADO DE TRES CRUCES. Documento de trabajo N°255. Resolución N°147.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2008. Plan Nacional de Conservación de la Tagua Cornuda, *Fulica cornuta* Bonaparte, 1853 en Chile. Editores: Nelson Amado Pool, Andrea Choque Brito, Alejandra Castro Espíndola.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2009. Censo de Camélidos Altoandinos. CONAF Atacama.



CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2010a. Censo Invernal de Avifauna Altoandina. Departamento de Áreas Protegidas y Medio Ambiente.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2010b. Censo estival de Avifauna Altoandina. Departamento de Áreas Protegidas y Medio Ambiente.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2011a. Censo de Camélidos Altoandinos. CONAF Atacama.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2011b. Censo de Vicuñas Altoandinos. CONAF Atacama.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2013. Resumen de censo de flamencos altoandinos. Departamento de Áreas Protegidas y Medio Ambiente, Atacama.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). s/f. Ficha Pedagógica N°6. Preparada por L. Letelier. Universidad de la Serena, Centro de Estudios Avanzados Zonas Áridas e Instituto de Ecología y biodiversidad.

CORTÉS, A., RAU, J., MIRANDA, E., JIMÉNEZ, J. 2002. Hábitos alimenticios de *Lagidium viscacia* y *Abrocoma cinerea*: roedores sintópicos en ambientes altoandinos del norte de Chile. *Rev. chil. hist. nat.* v.75 n.3. 583-593. Santiago.

DE LA FUENTE, ALBERTO AND NIÑO, YARKO.2010. Temporal and spatial features of the thermohydrodynamics of shallow salty lagoons in northern Chile. *Limnol.Oceanogr.*, 55(1), 279–288.

DE LAMO, D. 2011. Camélidos sudamericanos. Historia, usos y sanidad animal. Servicio nacional de sanidad y calidad agroalimentaria (SENASA). República de Argentina.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA).1987. Balance Hídrico de Chile.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), Universidad Católica del Norte (UCN), Institut de Recherche pour le Développement (IRD). 1999a. Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II, III Regiones - Chile. S.I.T. N° 51. Volumen I Síntesis. Realizado por Risacher F., Alonso H., Salazar C.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), Universidad Católica del Norte (UCN), Institut de Recherche pour le Développement (IRD). 1999b. Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II, III Regiones - Chile. S.I.T. N° 51. Volumen IV Estudio de Cuencas de la III Región. Realizado por Risacher F., Alonso H., Salazar C.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2006. Análisis de la situación Hidrológica e Hidrogeológica de la Cuenca del Salar de Maricunga, III Región. S.I.T. N° 225. Realizado por Rojas L., Salazar C.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2008. 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 1. Informe Final parte I. Hidrografía Regional del Altiplano de



Chile. S.I.T. N° 157. Realizado por Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2009. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II y III. Etapa 2. Informe Final parte X. Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. S.I.T. N° 195. Realizado por Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. 2001. Climatología Regional. Departamento de Climatología y Meteorología.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 1992. The use of saline waters for crop production - FAO irrigation and drainage paper 48. J.D. Rhoades, A. Kandiah, A.M. Mashali

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith.

FERNÁNDEZ-COPPEL I.; HERRERO LL., ELIECER. (2003) El Satélite Landsat. Análisis visuales de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat. Universidad de Valladolid. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal.

GAO,B.C. (1995). Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. Proceedings of SPIE 2480: 225-236.

GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011. Proyecto Reinicio Y Expansión Del Proyecto Lobo Marte. Línea Base Hidrogeológica e Hidrológica Lobo Marte y Modelo Hidrogeológico Ciénaga Redonda. Elaborado para KINROSS GOLD CORPORATION.

GOLDER ASSOCIATES INC. 2011. Modelo de Flujo Subterráneo- Lobo Marte. Elaborado para KINROSS GOLD CORPORATION.

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM), 1984. Geografía de Chile, Tomo VIII, Hidrografía. Niemeyer y Cereceda.

LENSKY N., DVORKIN Y., LYAKHOVSKY V., GARTMAND I., AND GAVRIELI I. 2005. Water, salt, and energy balances of the Dead Sea. WaterResour. Res. 41: W12418, doi: 10.1029/2005WR004048.

MASCITTI, V.; NICOLOSSI, G. (1992) Nidificación del Flamenco Austral, (*Phoenicopterus chilensis*), en la laguna de Pozuelos, Puna de Jujuy. Hornero 013 (03) : 240-242

McFEETERS,(1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. Int. J. Remote Sensing, Vol. 17, No. 7, 1425-1432.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA), SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG), DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2011. Guía para la conservación y seguimiento ambiental de humedales andinos.



MHW. 2011. EIA Proyecto Minero Cerro Casale, Línea de Base. Cap5.3.3 Limnología, Julio 2011

MORENO, RODRIGO; MORENO, JORGE; TORRES-PEREZ, FERNANDO & ORTIZ, JUAN CARLOS. 2000. Reptiles del Parque Nacional "Nevado de Tres Cruces" (II Región, Chile). Bol.Soc. Biol. Concepción, Chile. Tomo 71. Pag 41-43.

NEIFF, JUAN JOSÉ. s/f. Humedales de Iberoamérica. Red Iberoamericana de Humedales (RIHU). CYTED. Programa Iberoamericano de Ciencia y desarrollo Subprograma XVIII. ISBN 959-270-036-2

PARDO, I., GARCÍA, L., DELGADO, C., COSTAS, N. & ABRAÍN, R., 2010. Protocolos de muestreo de comunidades biológicas acuáticas fluviales en el ámbito de las Confederaciones Hidrográficas del Miño-Sil y Cantábrico. Convenio entre la Universidad de Vigo y las Confederaciones Hidrográficas del Miño-Sil y Cantábrico. 68pp. NIPO 783-10-001-8.

PARRA O & BICUDO C. 2006. Introducción a la biología y sistemática de las algas de aguas continentales – Universidad de Concepción.

RISACHER F., ALONSO H., AND SALAZAR C. 2003. The origin of brines and salts in Chilean salars: A hydrochemical review. Earth Sci. Rev. 64: 249–293.

SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG). 2009. Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT). Ahumada, Mario. & Faúndez, Luis. división de Protección de Recursos Naturales Renovables (eds). Primera Edición. 118 p. Santiago, Chile.

SERNAGEOMIN. 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital*, No. 4 (CD-ROM, versión1.0, 2003). Santiago.

SCHEIHING R., LABARCA P., SANTIBAÑEZ P., ASECIO G., CLASING E. and NESPOLO R. F. 2010. A quantitative survey of the aquatic invertebrate community in the "Monumento natural Salar de Surire" on the Chilean Altiplano. *Journal of Natural History* Vol. 44, Nos. 47–48, December 2010, 2917–2928

SCHUMACHER B., BACH H.-G., SPITZER P., OBRZUT J. 2006. Electrical Properties. pp 431-484. Springer Handbook of Materials Measurement Methods

SQUEO F., WARNER B., ARAVENA R., & ESPINOZA D. 2006. Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes

TIERRA DEL SOL INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO. 2012. "Elaboración De Una Propuesta De Planificación Aplicada, Para El Seguimiento Y Monitoreo De Humedales Asociados Al Parque Nacional Nevado Tres Cruces Y Sitio Ramsar, En El Contexto De La Cuenca Hidrográfica Del Salar De Maricunga, Basándose En La "Guía Para La Conservación Y Seguimiento De Humedales Andinos"", REGIÓN DE ATACAMA. Elaborado para el MMA.



TORRES. H. 1983. Distribución y conservación de la vicuña (*Vicugna vicugna*). Grupo especialista en camélidos silvestres sudamericanos. Reporte para la Comisión de sobrevivencia de especies. Unión internacional para la conservación de la naturaleza y de sus recursos, 1196 Gland, suiza.

TRONCOSO J. & MARAMBIO Y. Lista comentada de los reptiles de la Región de Atacama. Boletín del Museo Regional de Atacama N° 02, año 2011, pp. 62-76, Copiapó.

VALLADARES, P. 2011. Análisis, síntesis y evaluación de la literatura de lagartos de la Región de Atacama, Chile. *Gayana* 75(1): 81-98.

VILA, B. 1999 La importancia de la etología en la conservación y manejo de las vicuñas. *Etología*, 7:63-68

VILA, B. 2002. La silvestría de las vicuñas, una característica esencial para su conservación y manejo. *Ecol. Austral*, vol.12, n.1, pp. 79-82. ISSN 1667-782X.



6 ANEXOS

6.1 Datos Meteorológicos DGA

A partir de los datos recibidos de la DGA en la respuesta N°30797 se calculó la evaporación de tanque acumulada en la estación Iglesia colorada (Tabla 6.1). Para este cálculo no se hizo ningún tipo de relleno.

Tabla 6.1: Evaporación de tanque mensual acumulada- Estación Iglesia Colorada. Información proporcionada por la DGA

Año		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1993	suma	-	-	384.6	-	244.7	148.2	168.6	183.4	207.7	262.5	311	299.8
1994	suma	384.3	300.3	305.6	308.2	317.8	-	184.5	204.5	355.3	366.8	387.1	427.4
1995	suma	346.4	370.5	321.7	242	235.6	240.7	198.4	325.6	305.1	386.7	486.7	427.4
1996	suma	406.8	396.8	359.7	-	-	368	-	298.4	197.9	234.8	334.6	387.2
1997	suma	346.2	-	137.8	361.9	238.2	193.6	374.8	315.5	299	379.5	482	553.2
1998	suma	601	522.4	589.8	-	190.3	264.4	153	364.4	383	398.4	403.8	384
1999	suma	357	329.1	344.9	324	296.2	281.9	284.8	210	183.5	155	233	335
2000	suma	263.1	-	346	253.3	305.2	239.2	303.7	236.3	268.4	465.1	442.4	431.2
2001	suma	*	-	390.4	353.3	243.7	312.1	319.6	346.8	282.4	443.8	427.3	462
2002	suma	478.5	417.4	383.2	333.2	307.8	320.1	21.8	379	386.7	433.8	406.6	455.6
2003	suma	469.9	400.6	422.2	334.2	303.2	222.3	253.4	317.9	317.4	364	358.5	359.3
2004	suma	332.6	284.4	279.7	274.2	289	294.6	243	260.3	324.9	344.4	310.5	392.5
2005	suma	329.3	347	323.6	278.3	193.6	267.7	152.9	263.4	-	309.5	358.2	407.3
2006	suma	406.3	319.5	344.7	312.3	-	59.3	263.1	264.2	292.5	337.9	362.8	371.7
2007	suma	372.6	294	305.3	269.5	222.3	214.8	284.9	241.7	314.4	326.9	407.2	381.8
2008	suma	370.5	322.1	382.2	280.8	292	246.9	191.6	315.6	325.3	370.1	387.2	325.7
2009	suma	367.6	313.1	248.6	256.92	260.8	274.5	242.69	285.5	224.1	333.9	338.04	361.2
2010	suma	362.5	297.1	279.1	301.8	250.1	215.6	195.79	-	312.1	300.32	275.1	335.9
2011	suma	344.5	304.7	316	243.6	313.2	171.94	197.4	272.9	350.3	316.8	339	359.1
2012	suma	-	-	290.6	262.7	310	245.7	-	-	-	-	-	-
Promedio		384.7	347.9	337.8	293.5	267.4	241.1	224.1	282.5	296.1	343.7	371.1	392.5

A partir de los datos recibidos de la DGA en las respuestas N°29721 y N°30797 se calculó la precipitación acumulada en las estaciones cercanas a la zona de estudio (Tabla 6.2). Para este cálculo no se hizo ningún tipo de relleno.

Tabla 6.2: Precipitación acumulada anual – Estaciones cercanas a la zona de estudio. Información recibida de la DGA.

AÑO	Precipitación acumulada anual (mm)			
	Las Vegas	Jorquera	Pastos Grandes	Iglesia colorada
1966	-	0	0	-
1967	-	0	55	-
1968	-	0	0	-
1969	-	0	0	-
1970	-	12	0	-
1971	-	0	17	-
1972	-	74	41	-
1973	-	18.5	13	-
1974	-	8.5	54	-
1975	-	50	39	-
1976	-	54	20.5	-
1977	-	20	12	-
1978	-	12	18	-
1979	-	14	29	-
1980	-	114.5	97.5	-
1981	-	74	48.5	-
1982	-	34.5	19	-
1983	-	137.8	75	-
1984	390.2	109	35	-
1985	1	12.1	0	-
1986	4	61.2	22	-
1987	274	149.3	149.5	-
1988	5.1	13.4	0	3.6
1989	13	47.4	5	47.2
1990	3.1	18.5	8.5	29.5
1991	52	68.8	56.5	118
1992	26.5	56.2	43.8	163.1
1993	36	21.8	20	6
1994	2	6.5	2.4	5.4
1995	26.1	34.1	19.5	11.7
1996	11	23.1	10.7	7.7
1997	94.6	164.2	144.5	197
1998	15	37.9	25.5	26
1999	23	34.7	21.5	47
2000	63	64	36.5	84.5
2001	0.5	47.2	19.5	4.7
2002	47	115	76	123.5
2003	0	7.5	0	1.2
2004	27	25.7	11	45.3



AÑO	Precipitación acumulada anual (mm)			
	Las Vegas	Jorquera	Pastos Grandes	Iglesia colorada
2005	27	22	32	56.5
2006	28	14.5	26	5
2007	0	77	20	19.5
2008	13	9	3.5	26.3
2009	17	23.5	8	19.5
2010	46	50.8	44	66.5
2011	39	51.4	47.2	53.7
2012	6.2	9.9	9	
Precipitación promedio anual	44.49	42.54	30.54	48.68
INDICADOR - : AÑO SIN INFORMACIÓN				

Los demás datos recibidos se encuentran en formato digital en planilla “Datos meteorológicos recibidos de la DGA.xls”



6.2 Proyectos Mineros Aprobados en el SEIA en la provincia de Copiapó y Chañaral

Tabla 6.3: Proyectos aprobados en el SEIA en la provincia de Copiapó, cercanos a la zona de estudio

ID	Nombre	Tipo	Titular	Fecha calificación	Norte	Este	Datum*	Comuna
AM1	Ampliación Caspiche Central	DIA	Sociedad Contractual Minera Eton Chile	19-mar-09	6938758	467528	PSAD 56	Tierra Amarilla
AM1	Exploraciones Caspiche Central	DIA	Sociedad Contractual Minera Eton Chile	12-dic-07	6936580	470260	PSAD 56	Tierra Amarilla
AM2	Prospección Luciano	DIA	COMPAÑIA MINERA CASALE	14-ago-12	6926819	461490	WGS 84	Tierra Amarilla
AM2	Actividades Prospección Minera	DIA	Compañía Minera Aldebarán	21-sep-98	No especificado	No especificado	No especificado	Tierra Amarilla
AM3	Modificación Proyecto Minero Refugio Racionalización de la Operación Mina Planta	DIA	Compañía Minera Maricunga	03-mar-11	6955309	468184	PSAD 56	Tierra Amarilla
AM3	Optimización Proceso Productivo Proyecto Refugio	DIA	Compañía Minera Maricunga	10-nov-09	6954499	468726	PSAD 56	Copiapó
AM3	Modificación Instalaciones y Diseños Proyecto Refugio	DIA	Compañía Minera Maricunga	16-ene-04	27° 33' 00"	69° 18' 00"	No especificado	Copiapó
AM3	Nuevo Campamento Proyecto Refugio	DIA	Compañía Minera Maricunga	30-dic-03	6945600	466100	PSAD 56	Copiapó
AM3	Plan de Cierre Proyecto Refugio	DIA	Compañía Minera Maricunga	11-jun-02	27° 33' 00"	69° 18' 00"	No especificado	Copiapó
AM3	Modificación Proyecto Refugio	DIA	Compañía Minera Maricunga	16-may-00	No especificado	No especificado	No especificado	Copiapó
AM3	Proyecto Minero Refugio	EIA	Compañía Minera Maricunga	14-dic-94	No especificado	No especificado	No especificado	Copiapó
AM4	Modificación Sondajes de Prospección, Proyecto Volcán	DIA	Andina Minerals Chile Ltda.	06-ene-12	6973650	487807	WGS 84	Tierra Amarilla
AM4	Sondajes de Prospección Proyecto Volcán	DIA	Andina Minerals Chile Ltda.	31-dic-08	6984350	483000	WGS 84	Tierra Amarilla
AM5	Prospecciones Mineras Cerro Maricunga	DIA	Minera Atacama Pacific Gold Chile Ltda.	11-nov-11	7013369	478094	WGS 84	Copiapó
AM6	Proyecto de Prospección Minera Sierra La Sal	DIA	Fortune Valley Resources Chile S.A.	28-feb-11	6966207	492591	WGS 84	Tierra Amarilla



ID	Nombre	Tipo	Titular	Fecha calificación	Norte	Este	Datum*	Comuna
AM7	Prospección Minera Lobo Marte Etapa II	DIA	Minera Santa Rosa SCM	23-dic-10	6994567	497294	WGS 84	Copiapó
AM7	Optimización Prospección Minera Lobo Marte (e-seia)	DIA	Minera Santa Rosa SCM	22-abr-10	6988831	496303	PSAD 56	Copiapó
AM7	Prospección Minera Lobo Marte (e-seia)	DIA	Minera Santa Rosa SCM	02-jul-09	6988832	496303	PSAD 56	Copiapó
AM8	Proyecto Explotación de Minerales Can-Can (e-seia)	DIA	Compañía Minera Mantos de Oro	18-may-10	7035702	472902	WGS 84	Copiapó
AM9	Prospección Minera Cerro Casale (e-seia)	DIA	COMPAÑÍA MINERA MANTOS DE ORO	29-abr-09	6926998	470771	PSAD 56	Tierra Amarilla
AM10	Actualización del Proyecto Explotación Minera Proyecto Purén (e-seia)	DIA	Sociedad Contractual Minera Purén	06-ago-07	7040460	476274	PSAD 56	Copiapó
AM10	Explotación Minera Proyecto Purén	EIA	Sociedad Contractual Minera Purén	29-dic-04	No especificado	No especificado	PSAD 56	Copiapó
AM10	Exploraciones Sector Puren	DIA	COMPAÑÍA MINERA MANTOS DE ORO	20-may-02	7043137	479600,52	No especificado	Copiapó
AM11	Proyecto Minero Aldebarán	EIA	Compañía Minera Casale	31-ene-02	6924000	473000	No especificado	Tierra Amarilla
AM12	Proyecto de Prospección Minera, Sitio Río Figueroa, III Región (e-seia)	DIA	Minera Metallica Limitada	10-nov-05	6947500	449000	PSAD 56	No especificado
AM13	"Prospecciones Geológicas Mantos de Oro"	DIA	Compañía Minera Mantos de Oro	20-mar-12	7039761	474747	WGS 84	Copiapó
AMF30	Proyecto Prospección La Pepa (e-seia)	DIA	Minera Meridian Limitada	25-abr-08	6982750	476250	PSAD 56	No especificado
AMF41	Prospección Minera Cerro Matta (e-seia)	DIA	Antofagasta Minerals S.A.	24-dic-09	6956000	455500	PSAD 56	Tierra Amarilla

* Para el caso de datum no especificado se asumió datum WGS84

6.3 Geología SERNAGEOMIN

**Tabla 6.4: Unidades geológicas de las cuencas del Salar de Maricunga y Laguna del Negro Francisco.
(Fuente: Sernageomin, 2003)**

Sectores donde se identifica la unidad		ID	Intervalo de edad de la unidad	Unidades Geológicas	
Bordes del Salar de Maricunga en su zona más austral, Zona de drenaje desde ciénaga Redonda hacia el Salar, Borde Norte del Salar, Corredor biológico que une el Salar con la laguna del Negro Fco; río Valle Ancho; Quebrada de Piedra Pómez. Afluentes por el poniente a la laguna Verde.	Cenozoico - Cuaternario	Qa	Pleistoceno-Holoceno	Depósitos aluviales, subordinadamente coluviales o lacustres: gravas, arenas y limos. En la Depresión Central, regiones I a III: abanicos aluviales.	secuencias sedimentarias
Sectores de la Frontera con Argentina	Cenozoico - Cuaternario	Q3i	Cuaternario	Estratovolcanes y complejos volcánicos: lavas basálticas a riolíticas, domos y depósitos piroclásticos andesítico-basálticos a dacíticos; principalmente calcoalcalinos; adakíticos al sur de los 47°S. En la Cordillera Principal, regiones I a III.	secuencias volcánicas
Frontera con Argentina en la zona Sur de la cuenca al SE Salar de Pedernales	Cenozoico - Cuaternario	Q3t	Cuaternario	Depósitos de flujo piroclástico, localmente soldados. En la Cordillera Principal, regiones I a III.	secuencias volcánicas
Salares de Pedernales y Maricunga	Cenozoico - Neógeno	MQs	Mioceno-Cuaternario	Depósitos evaporíticos: sulfatos, cloruros, carbonatos y niveles detríticos finos, localmente con bórax y/o litio. En los salares, regiones I a III.	secuencias sedimentarias
Desembocadura río Lamas, Piedra Pómez, Borde norte y oriental del salar de Maricunga, Curso de la quebrada de Ciénaga Redonda, Sector este de la cuenca del río Valle Ancho, Sector sur de la cuenca del río Astaburuaga.	Cenozoico - Neógeno	MP1c	Mioceno Superior-Plioceno	Secuencias sedimentarias clásticas de piedemonte, aluviales, coluviales o fluviales: conglomerados, areniscas y limolitas. En las regiones I a IV.	secuencias sedimentarias
Bordes Sur y poniente de la laguna del Negro Fco. Cabecera cuenca río Valle ancho antes junta Barros Negros. Sector este de la cabecera de la cuenca del río Valle Ancho en la Barrera. Sector Lobo-Marté. Cordillera Oeste del Salar de Maricunga.	Cenozoico - Neógeno	M3i	Mioceno Inferior-Medio	Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesítico-basálticas a dacíticas. En la Cordillera Principal, regiones I a VIII.	secuencias volcánicas
<ul style="list-style-type: none"> Algunas unidades poseen como sufijo las letras c, m, l, que identifican ambiente continental, marino o lacustre 					
<ul style="list-style-type: none"> Para las secuencias volcánicas, los sufijos indican secuencias o volcanes de composición intermedia (i: basaltos a dacitas), ácida (a: dacitas a riolitas) o estrictamente basáltica (b), otros casos aluden a secuencias piroclásticas o ignimbritas (t), avalanchas volcánicas (av) u ofiolitas (o). 					



Sectores donde se identifica la unidad		ID	Intervalo de edad de la unidad	Unidades Geológicas	
Sector de la mina Volcán, cuenca de barrancas blancas, Laguna Verde, Laguna Escondida, volcán Wheelwright.	Cenozoico - Neógeno	Ms3i	Mioceno Superior	Centros y secuencias volcánicas: lavas, domos y depósitos piroclásticos, andesíticos a dacíticos, con intercalaciones aluviales, asociados a depósitos epitermales de Au-Ag. En la Cordillera Principal, regiones I a IV.	secuencias volcánicas
Cabecera de la cuenca del río Astaburuaga. Cuenca del río Barrera.	Cenozoico - Neógeno	M1c	Mioceno Inferior-Medio	Secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, pedimento o fluviales: gravas, arenas y limos con ignimbritas intercaladas.	secuencias sedimentarias
Cabecera del río Villalobos, Quebradas que descargan a la Laguna del N. Fco por el Nor-Oeste y cabecera de la quebrada que descarga por el Sur.	Cenozoico - Neógeno	Ms3t	Mioceno Superior	Ignimbritas dacíticas a riolíticas y depósitos piroclásticos asociados a estratovolcanes. En la Cordillera Principal, regiones I a IV.	secuencias volcánicas
Al este de la cuenca del río valle ancho antes de junta Barros Negros. Sector Laguna Santa Rosa	Cenozoico - Neógeno	M3t	Mioceno Inferior-Medio	Secuencias piroclásticas dacíticas a riolíticas asociadas a calderas de colapso. En la Cordillera Principal de la cuenca de Maricunga.	secuencias volcánicas
Ciénaga Redonda Este en cuenca del río Valle Ancho antes junta Barros Negros.	Cenozoico - Neógeno	Mh	Mioceno (20-12 Ma)	Pórfidos dacíticos, andesíticos, monzodioritas y dioritas de hornblenda, piroxeno y biotita. En la Cordillera Principal, regiones I a III: 'Pórfidos auríferos' de la 'Franja de Maricunga'.	secuencias volcánicas
Afluentes desde el sur de la quebrada Piedra Pómez. Cuencas al SE del salar de Pedernales. En la Cordillera Principal de Laguna Escondida	Cenozoico - Neógeno	P3i	Plioceno	Centros volcánicos: lavas, domos y depósitos piroclásticos andesíticos a dacíticos, conos de piroclastos y lavas basálticas a andesítico-basálticas.	secuencias volcánicas
Cuencas al NE del Salar de Pedernales. Afluentes por el poniente a la Laguna Verde. Bordes Norte y oriental de la laguna Verde. Al Nor-este de la Laguna Eulogio. El sur-este de la Laguna Escondida.	Cenozoico - Neógeno	P3t	Plioceno	Depósitos piroclásticos dacíticos a riolíticos parcialmente soldados. Principalmente en la Cordillera Principal, regiones I a III.	secuencias volcánicas
Cordillera al este del Salar de Maricunga	Cenozoico - Paleógeno	OM2c	Oligoceno-Mioceno	Secuencias volcanosedimentarias: lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas. En la Cordillera Principal, regiones I a IX.	secuencias volcanosedimentarias
	Cenozoico - Paleógeno	OM3t	Oligoceno-Mioceno	Secuencias piroclásticas dacíticas a riolíticas asociadas a calderas de colapso. En la Cordillera Principal, regiones I a III.	secuencias volcánicas
<ul style="list-style-type: none"> Algunas unidades poseen como sufijo las letras c, m, l, que identifican ambiente continental, marino o lacustre Para las secuencias volcánicas, los sufijos indican secuencias o volcanes de composición intermedia (i: basaltos a dacitas), ácida (a: dacitas a riolitas) o estrictamente basáltica (b), otros casos aluden a secuencias piroclásticas o ignimbritas (t), avalanchas volcánicas (av) u ofiolitas (o). 					



Sectores donde se identifica la unidad		ID	Intervalo de edad de la unidad	Unidades Geológicas	
Cordillera al este del Salar de Maricunga	Cenozoico - Paleógeno	EO2c	Eoceno-Oligoceno	Secuencias volcanosedimentarias: brechas volcanoclásticas, tobas cineríticas y areniscas tufáceas, intercalaciones evaporíticas (yeso), limolitas y calizas lacustres. En la Cordillera Principal, región III: estratos Río Nevado (Aldebarán).	secuencias volcanosedimentarias
Cabecera del río Astaburuaga	Cenozoico - Paleógeno	E2c	Eoceno	Secuencias volcano sedimentarias: brechas sedimentarias y volcánicas, areniscas e intercalaciones de tobas. En la Precordillera, regiones II a IV: Estratos de Loma Amarilla, formaciones Pircas y Astaburuaga, Gravas del Torín.	secuencias volcanosedimentarias
Cabecera quebrada que descarga a la Laguna del N. Fco por el Este. Cordillera al Nor-Oeste del Salar de Maricunga.	Mesozoico - Cretácico	Ks3i	Cretácico Superior	Secuencias volcánicas continentales: lavas, domos y brechas basálticas a dacíticos con intercalaciones piroclásticas y epiclásticas. En la Precordillera, regiones I a IV.	secuencias volcánicas
En cordillera al Norte Salar de Maricunga	Mesozoico - Cretácico	Kiag	Cretácico Inferior alto-Cretácico Superior bajo (123-85 Ma)	Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita. En la Cordillera de la Costa, regiones II a IV.	rocas intrusivas
En cordillera de Domeyko al oeste Salar de Maricunga	Mesozoico - Cretácico	Ksg	Cretácico Superior (90-65 Ma)	Monzodioritas, granodioritas, gabros y dioritas de piroxeno, biotita y hornblenda; pórfidos andesíticos y dioríticos. En la Precordillera, regiones I a III.	rocas intrusivas
En cordillera de Domeyko al Nor-oeste del Salar de Maricunga, Tres Cruces	Mesozoico - Jurásico	Ji1m	Jurásico Inferior-Medio	Secuencias sedimentarias marinas litorales o de plataforma: calizas, areniscas calcáreas, lutitas, conglomerados y areniscas con intercalaciones volcanoclásticas y lávicas; basaltos almohadillados. En la Precordillera, regiones II a IV; en la Cordillera Principal, regiones III a IV.	secuencias sedimentarias
En cordillera al Nor-oeste del Salar de Maricunga	Mesozoico - Jurásico	JK1c	Jurásico Superior-Cretácico Inferior	Secuencias sedimentarias continentales aluviales, fluviales y eólicas, en parte transicionales: areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados rojos. En la Precordillera, regiones I a III.	secuencias sedimentarias
En cordillera de Domeyko al Nor-oeste del Salar de Maricunga	Mesozoico - Triásico	TrJ1c	Triásico-Jurásico Inferior	Secuencias sedimentarias continentales aluviales, fluviales y lacustres: conglomerados, areniscas cuarcíferas y feldespáticas y lutitas carbonosas con intercalación de tobas riolíticas y lavas basálticas. En la Precordillera, región III.	secuencias sedimentarias
<ul style="list-style-type: none"> Algunas unidades poseen como sufijo las letras c, m, l, que identifican ambiente continental, marino o lacustre 					
<ul style="list-style-type: none"> Para las secuencias volcánicas, los sufijos indican secuencias o volcanes de composición intermedia (i: basaltos a dacitas), ácida (a: dacitas a riolitas) o estrictamente basáltica (b), otros casos aluden a secuencias piroclásticas o ignimbritas (t), avalanchas volcánicas (av) u ofiolitas (o). 					



Sectores donde se identifica la unidad		ID	Intervalo de edad de la unidad	Unidades Geológicas	
En cordillera de Domeyko al Nor-oeste del Salar de Maricunga. Al oeste de la laguna del Negro Fco	Paleozoico	CPg	Carbonífero-Pérmico (328-235 Ma)	Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita, localmente de muscovita. En la Precordillera y Cordillera Principal, regiones I a IV: Batolitos compuestos, 'stocks' y cuerpos hipabisales.	rocas intrusivas (4)
En la zona donde el río Astaburuaga cambia su dirección hacia el sur. Quebrada Las Lajitas	Paleozoico	CP3	Carbonífero-Pérmico	Secuencias volcánicas continentales: lavas, domos, tobas y brechas andesíticas a riolíticas con intercalaciones de areniscas, conglomerados y calizas. Incluye cuerpos hipabisales riolíticos. En la Precordillera y Cordillera Principal, regiones I a IV.	secuencias volcánicas (3)
Afluentes ponientes al río Astaburuaga	Paleozoico	PTrg	Pérmico-Triásico (270-205 Ma)	Granitos hololeucocráticos, pórfidos graníticos y granodioritas de biotita. En la Cordillera Principal, regiones III y IV.	rocas intrusivas (4)
Pequeña porción en el llano de Ciénaga Redonda	Paleozoico	DC1	Devónico-Carbonífero	Secuencias sedimentarias marinas, en parte transicionales: areniscas cuarzo-feldespáticas, lutitas micáceas, conglomerados. En la Precordillera, regiones II a III, y en la Cordillera Principal, regiones II y IV.	secuencias sedimentarias (1)
<ul style="list-style-type: none">Algunas unidades poseen como sufijo las letras c, m, l, que identifican ambiente continental, marino o lacustre					
<ul style="list-style-type: none">Para las secuencias volcánicas, los sufijos indican secuencias o volcanes de composición intermedia (i: basaltos a dacitas), ácida (a: dacitas a riolitas) o estrictamente basáltica (b), otros casos aluden a secuencias piroclásticas o ignimbritas (t), avalanchas volcánicas (av) u ofiolitas (o).					



6.4 Resumen de estudios hidrogeológicos informados en estudios de impacto Ambiental

6.4.1.1 Estudio hidrogeológico Lobo Marte

En el estudio hidrogeológico realizado por Golder (2011) se hicieron 49 pozos de monitoreo que permitieron medir el nivel de agua, realizar pruebas de air lift, y revisar la estratigrafía de cada punto. Para cada pozo se identificó la unidad en la que se encontraba como: Sedimentos aluviales, Basamento rocoso o Sedimentos aluviales y Basamento rocoso. En la Tabla 6.23 se presentan las características de los pozos de monitoreo donde se indica la ubicación, Cota, Diámetro y Largo, Nivel de Agua Estático. Los pozos RPG21 y RPG30 ubicados en el sector de Pantanillo y Ciénaga Redonda, respectivamente, se utilizaron para hacer pruebas de bombeo. Se perforaron pozos en la zona de los rajos donde se realizaron ensayos tipo packer. Además, se excavaron 21 pozos de poca profundidad (punteras, profundidad máxima de 2.2 m) para registrar el nivel de agua en la cercanía de las vegas, Tabla 6.26.

También, se realizaron 3 pruebas de bombeo, una en el sector Ciénaga Redonda aguas abajo de la estación Villalobos en Vertedero (pozo Marte N°1), otra en sector Ciénaga Redonda Norte aguas abajo de la estación Valle Ancho en la Barrera (pozo RPG-30) y Sector Pantanillo donde el río Astaburuaga cambia de dirección (RPG-21).

El pozo Marte N° 1 fue perforado por pozos Profundos C.P.A: para su utilización en el sistema de suministro de agua de Lobo Marte. Se utilizó un video cámara para verificar las características de este pozo y poder utilizarlo en las pruebas de bombeo. Un borde indicativo de condiciones de menor permeabilidad se observó después de cerca de un día de bombeo. Este borde pareciera ser el lecho rocoso encontrado al este y oeste del valle de Ciénaga Redonda.

En la Tabla 6.27 se presenta un resumen de los parámetros hidráulicos calculados a través de los métodos descenso/ascenso en el pozo y distancia-descenso, los cuales fueron calculados por medio de análisis semilogarítmico, con el método de Jacob (Cooper y Jacob, 1946). Para las pruebas realizadas en el pozo Marte N°1 se realizó un análisis de los datos utilizando el software AQTESOLV 4.0, utilizando los métodos de Neuman 1974 y Moench 1997.

En los pozos del sector de la Quebrada de Ciénaga Redonda Norte se encontró que el nivel de agua subterránea variaba entre 14 y 52 m de profundidad, pero aun así el pozo RPG-30 tenía flujo superficial, lo que hace suponer que el cauce de Ciénaga Redonda estaría colgado en una franja impermeable por sobre el acuífero. Este flujo de agua se infiltra más al norte donde hay un sector de arenas y gravas no consolidadas.

A partir de las estratigrafías el estudio concluyó que bajo el acuífero de arena y grava encontrado en el sector del punto RPG-30 existe otro acuífero de roca volcánica fracturada, sin que exista un estrato impermeable entre estas dos unidades de modo que ambos acuíferos están en comunicación hidráulica. En las pruebas hidráulicas, todo este sistema se comportó como un acuífero no confinado.

En el estudio se afirma que en el sector Pantanillo existen 3 pozos que pertenecen a la Compañía Minera Maricunga (RA-1, RA-2 y RA-3), de los cuáles sólo dos estarían en



funcionamiento extrayendo en conjunto entre 50 y 70 l/s. Estos pozos se perforaron en sedimentos coluviales y aluviales dejados por el río Astaburuaga en el punto donde cambia de dirección para dirigirse al suroeste.

6.4.1.2 Hidrogeología Sector Quebrada Piedra Pómez (EDRA, 1999)

Este estudio se realizó por encargo de Compañía Minera Casale, que solicitó un área de exploración en el sector de la Quebrada Piedra Pómez, en el Altiplano de la III Región de Atacama. En el marco de este trabajo se perforaron dentro del perímetro solicitado 16 pozos de exploración y 16 pozos de bombeo. Con los antecedentes estratigráficos se describió un acuífero con gran potencial de explotación. Además de las perforaciones se llevó a cabo una serie de sondeos geofísicos TEM.

El estudio indica que la cuenca hidrogeológica no se corresponde con la cuenca hidrográfica, sino que es de mayor tamaño (50 km de ancho por 80 km largo) con límite en la cordillera de Claudio Gay por el este y “los afloramientos del Paleozoico, que insinúan su continuación hacia el sur”, con lo que suponen la desconexión entre las cuencas de Piedra Pómez de Salar de Maricunga. Desde el punto de vista de análisis químico existen 2 flujos de agua subterránea: uno que drena hacia la Quebrada Piedra Pómez y otro que drena hacia el este a la cuenca de Pampa de Barrancas Blancas.

Además Piedra Pómez no posee cursos de agua superficial de modo que tiene una alta infiltración. La recarga del acuífero se estimó entre 1700 a 2000 l/s proveniente desde los cerros del norte y noreste.

6.4.1.3 Hidrogeología Proyecto Minero Volcán (GHD, 2012)

El estudio de Impacto ambiental presentado al SEIA por Andina Minerals Chile Limitada (AMCL) para la aprobación del proyecto Volcán incluye estudios realizados en forma independiente en 3 zonas: Sector Salar de Maricunga Sur, Sector Barros Negros-Ciénaga Redonda y Sector de emplazamiento del proyecto, esto es principalmente en la quebrada de la Sal. Parte del agua de proceso que utilizará el proyecto de agua fresca extraída de fuentes subterráneas que AMCL ha adquirido, ubicadas en el sector de Ciénaga Redonda.

Salar de Maricunga Sector Sur

A partir de la caracterización realizada por SERNAGEOMIN (1999 y 2000) y por Golder para el proyecto Lobo-Marte (2011). Definieron 2 grandes unidades hidrogeológicas Acuífero Aluvial y Basamento Rocoso Fisurado. Además se utilizaron los perfiles desarrollados por Golder (2011) en la zona distinguiendo en ellos unidad de Gravas, unidad de Arenas, unidad de Gravas y Arenas con Finos, Unidad de Basamento Rocoso Media /Alta Meteorización; Unidad de Basamento Rocoso Baja Meteorización.

Unidad de Gravas: depósito aluvial no consolidado que corresponde a gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con pocos finos o sin ellos; en menor proporción, gravas limosas o arcillosas y mezcla mal graduada de gravas, arenas y limos.

Unidad de Arenas: secuencia sedimentaria no consolidada que corresponde a arenas bien graduadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos; en menor proporción

arenas limosas o arcillosas, mezcla de arena y limo mal graduada. Esta unidad subyace a la unidad de gravas y sobreyace al basamento rocoso de media/alta meteorización/alteración.

Unidad de Gravas y Arenas con Finos: corresponde a pequeñas porciones de paquetes sedimentarios definidos como Gravas y Arenas, con un porcentaje de partículas finas superior a 10% suficiente para generar un comportamiento hidrogeológico diferenciado, es decir, actuar como acuitardo o acuícludo en forma local.

Unidad Basamento Rcoso Media / Alta Meteorización: está compuesto por rocas de diferente composición y edad que presentan grados de meteorización medio a alto, lo que permite circulación menor de agua a través de fracturas (porosidad secundaria), se encuentra subyaciendo a las unidades de arenas y gravas. Las principales litologías que se incluyen en esta unidad son flujos volcánicos, lavas, tobas y rocas intrusivas, en forma más restringida que las anteriores, se identifican rocas sedimentarias. Uno de los sectores con mayor evidencia de este confinamiento en roca meteorizada / fracturada, es el sector norte de vega Ciénaga Redonda.

Unidad Basamento Rcoso Baja Meteorización: litológicamente corresponde a la unidad de basamento presentada anteriormente, sin embargo, su grado de alteración es bajo, por lo que se comporta como una unidad prácticamente impermeable. Como unidad hidrogeológica subyace a la unidad de basamento rocoso de meteorización alta/media.

Unidad Basamento Rcoso: subyace a las unidades anteriormente presentadas, sin embargo se desconoce exactamente su ubicación en profundidad. Debido a la escasa información para este sector, se desconoce el grado de alteración de esta unidad.

Los Pozos utilizados para el estudio de GHD (2012) también corresponden a los utilizados por el proyecto Lobo-Marte.

Tabla 6.5: Pozos utilizados en la caracterización del sector Sur del Salar de Maricunga, proyecto Volcán.

POZOS	COORD.E	COORD-N	QB	NIVEL DE AGUA
	(m)	(m)	(l/s)	(msnm)
MDO-10	493794	7013911	0	3757.9
MDO-09	492089	7007991	0	3762.2
MDO-23	491451	7008050	60	3757.2
MDO-24	490652	7007701		3746.6
RPG-26	499343	6998561	0	3912.9 (*)
RPG-27	499528	6998523	0	3875.2
RPG-28	499541	6998131	0	3916.6
RPG-29	499189	6999457	0	3868.7
RPG-30	499553	6998123	0	3916.7

(*) No incluido en análisis



Área de proyecto Volcán (Quebrada de la Sal)

En los documentos presentados por Andina Minerals al SEIA para la aprobación del proyecto Minero Volcán (GHD, Anexo 4.6), se incluye un modelo hidrogeológico del sector del proyecto que incluye la Quebrada Desagüe, la Quebrada Azufre, la Quebrada de La Sal, la sección suroeste del Río Astaburuaga y la Laguna del Negro Francisco.

Un total de 54 pruebas de Packer y Lefranc fueron realizadas en 13 pozos durante el periodo noviembre de 2011 a febrero de 2012. Además una prueba de bombeo a caudal constante y con prueba de recuperación fue ejecutada en los pozos VCA-06 y VCA-07 ubicados en la Quebrada de la Sal. El tiempo de recuperación correspondió al tiempo necesario para que el nivel de agua sea inferior a 10% del nivel estático inicial.

De acuerdo a los resultados obtenidos el sistema hidrogeológico en sector de la mina es profundo asociado al basamento rocoso volcánico, con flujo subterráneo a través del medio fracturado. Los valores típicos de almacenamiento drenable para rocas volcánicas típicas del sector de mina se encuentran en el rango de 0.5 a 2% y el almacenamiento compresivo, del orden de 10^{-7} a $10^{-6} m^{-1}$.

En el área de la laguna del Negro Francisco se caracteriza por los rellenos sedimentarios donde el flujo de agua subterránea se da por un medio poroso.

Sector Barros Negros- Ciénaga Redonda

El sistema hidrogeológico se caracteriza por ser somero asociado a rellenos sedimentarios del fondo de quebradas, arroyos y abanicos aluviales, donde el flujo de agua subterránea es en medio poroso.



6.5 Datos del estudio de Evaluación Ambiental del Proyecto Lobo-Marte

6.5.1 Datos Meteorológicos

6.5.1.1 Temperatura estación DGA Iglesia Colorada

Tabla 6.6: Temperatura media mensual [°C] - Estación Iglesia Colorada (GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1993	-	21,11	21,45	20,66	17,13	18,9	16,29	18,51	16,68	19,53	20,94	21,12
1994	21,16	21,08	20,94	20,48	19,03	18,17	-	17,71	21,04	19,06	19,75	21,2
1995	21,58	20,98	20,27	20,01	18,89	18,71	15,1	16,75	19,28	20,2	20,49	21,19
1996	20,22	21,49	20,7	-	-	13,82	17,62	15,6	17,61	17,83	19,54	19,96
1997	20,11	20,58	19,28	19,92	18,43	12,98	18,07	16,27	17,33	16,14	18,81	20,67
1998	22,26	21,81	20,91	18,97	17,46	16,77	15,76	16,03	16,13	20,36	20,15	20,28
1999	20,56	20,75	19,09	19	18,15	16,04	14,44	16,61	17,17	17,59	19,11	19,83
2000	19,57	-	19,28	19,11	14,1	11,94	14,8	16,17	15,91	20,01	19,25	20,37
2001	20,67	22,01	20,88	19,43	15,35	13,96	15,13	15,88	13,6	19,86	19,52	21,79
2002	20,71	20,3	20,83	17,27	16,82	16,07	14,27	17,26	18,75	20,35	20,78	20,56
2003	20,66	20,74	19,51	18,81	19,48	17,92	15,77	18,72	17,71	20,71	20,88	20,57
2004	19,5	19,47	19,78	17,21	15,65	15,26	14,71	15,42	17,72	16,57	18,17	-
2005	21,12	21,7	20,07	18,06	15,76	18,29	14,27	15	14,93	17,48	20,96	22,11
2006	22,33	22,48	21,86	19,94	17,76	16,42	18,18	17,98	17,81	20,02	19,81	21
2007	21,51	19,8	19,61	18,12	14,44	14,29	14,9	10,59	13,78	17,41	16,38	19,57
2008	21,4	-	18,91	16,11	15,1	12,23	14,97	14,65	14,85	16,29	17,76	18,55
2009	20,45	20,01	19,57	21,91	18,99	17,12	13,55	17,76	15,38			
Promedio	20,86	20,95	20,17	19,06	17,03	15,82	15,49	16,29	16,8	18,71	19,52	20,58



6.5.1.2 Temperatura estaciones de Lobo-Marte

Tabla 6.7: Estadística mensual de temperatura (°C) en estaciones meteorológicas del proyecto Lobo-Marte (AMEC, junio 2011)

Mes	Lobo			Marte			LM-02			LM-06		
	Min.	Prom	Máx	Min.	Prom	Máx	Min.	Prom	Máx	Min.	Prom	Máx
jul-09	-19.5	-5.4	6.7	-20.9	-5.7	6.5	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
ago-09	-12.6	-1.1	14.1	-13.3	-1.3	13.7	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
sep-09	-12.5	-1.7	9.0	-13.5	-1.7	9.6	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
oct-09	-10.3	2.5	17.6	-12.2	2.4	17.8	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
nov-09	-5.3	5.9	16.8	-5.4	5.8	17.0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
dic-09	-4.1	6.4	17.3	-5.1	6.3	18.1	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
ene-10	-3.0	7.3	18.9	-3.9	7.3	18.7	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
feb-10	-2.4	7.9	19.5	-3.7	7.9	18.5	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
mar-10	-3.6	6.5	20.4	-4.8	6.2	20.2	-6.3	6.6	18.9	-4.3	7.0	21.1
abr-10	-7.3	2.4	13.7	-8.5	2.2	14.0	-12.7	2.9	16.1	-9.0	2.4	14.5
may-10	-17.0	-3.0	10.5	-18.1	-3.7	9.5	-15.8	-2.5	13.3	-17.8	-3.6	10.1
jun-10	-12.1	-3.5	9.0	-14.8	-3.7	8.9	-15.7	-2.6	12.3	-14.4	-3.7	9.3
jul-10	-18.6	-5.5	6.8	-20.5	-5.6	7.5	-21.0	-5.2	11.1	-19.1	-5.7	8.3

6.5.1.3 Precipitación estaciones DGA

Tabla 6.8: Precipitación media mensual [mm] - Estación Iglesia Colorada (GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011)

Iglesia Colorada												
Año / Mes	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1967/68	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968/69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969/70	0	0	1,1	0	54	0	0	0	0	0	0	0
1970/71	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0	10,7	0	0
1971/72	0	0	18,6	0	4,8	0	0	0	0	0	3,2	0
1972/73	0	0	62,1	19,9	15	22	0	0	0	0	0	0
1973/74	5,3	0	11,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1974/75	0	0	3	1,1	0	18,8	0	0	0	0	0	9,1
1975/76	0	23	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976/77	0	32,8	0	0	6,5	1,1	0	0	0	0	0	0
1977/78	29,4	0	0	10,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0
1978/79	0	0	3,7	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0
1979/80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980/81	47,2	0	0	23,8	6,8	7,4	13,1	0	0	0	0	0
1981/82	0	0	0	0	23,8	0	0	0	0	0	0	0



Iglesia Colorada												
Año / Mes	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1982/83	0	7,8	0	8,5	0	8,1	0	0	0	0	0	0
1983/84	25,9	9,4	63,1	15,3	25,8	0	0	0	0	0	0	8,7
1984/85	0	0	9,8	118,5	0	0	0	0	0	0	0	0
1985/86	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
1986/87	0	15,2	0	4,9	25	0	0	0	0	0	2,4	0
1987/88	0	24,8	0	94,8	56,3	0	0	0	0	0	0	0
1988/89	2,3	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
1989/90	0	0,5	0	7,4	33	0	0	0	0	0	0	0
1990/91	0	0	0	29,5	0	0	0	0	0	0	0	0
1991/92	0	0	90	17	0	0	0	0	11	0	1	14
1992/93	29	63,1	48,3	3,6	0	0	0	1	0	0	0	0
1993/94	0	4,3	0	0	1,7	0	0	0	0	0	2,4	0
1994/95	0	0	0	0,2	2,6	0	0	0	0,2	0	0	0
1995/96	0	0,5	0	0	0	11	0	0	0,2	2	0	0
1996/97	0	0	0	0	5,7	0	0	0	0	0	0	1
1997/98	0	0	92,5	0	103,5	0	0	0	0	0	0	0
1998/99	1,5	0	15	9	0	0	0,5	0	0	0	0	21,9
1999/00	0	0	1,5	4,1	0	4	15,5	0	0	0	0	0
2000/01	3,5	31	50	12,3	0	0	0	0	0	0	0	5,9
2001/02	0	0	0	0	3,5	0	1,2	0	0	0	0	0
2002/03	21,6	52	0	20,9	29	0	0	0	0	0	0,2	0
2003/04	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
2004/05	0	0	0	42,3	0	0	0	0	0	0	0	0
2005/06	40	0	0	9	2,5	5	0	0	0	0	0	0
2006/07	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007/08	0	10,5	6,5	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0
2008/09	0	8,5	0	9,6	0	8,2	0	0	0	0	0	0
promedio	4,90	6,91	13,32	11,30	9,52	2,17	0,72	0,02	0,27	0,30	0,22	1,51

Nota: Los valores rojos y subrayados corresponden a información rellena.

Tabla 6.9: Precipitación media mensual [mm] - Estación Pastos Grandes (GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011)

Pastos Grandes												
Año / Mes	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1967/68	0	10	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968/69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969/70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,9
1970/71	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971/72	0	0	0	7	0	10	0	0	0	0	3	0



Pastos Grandes												
Año / Mes	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1972/73	0	0	9	10	9	10	0	0	0	0	0	0
1973/74	2	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1974/75	0	0	39	0	0	15	0	0	0	0	0	19
1975/76	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976/77	0	9,5	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0
1977/78	5	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978/79	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	25
1979/80	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	10,5	0
1980/81	22	4	0	44	3,5	0	17	0	0	0	10,5	0
1981/82	0	0	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0
1982/83	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0
1983/84	0	8,5	50,5	8	8	0	0	0	0	0	0	25
1984/85	0	0	10	66	0	0	0	0	0	0	0	0
1985/86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986/87	0	5	0	3	14	0	0	0	0	0	20	17
1987/88	0	22	0	85	5,5	0	0	0	0	0	0	0
1988/89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989/90	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
1990/91	0	0	0	8,5	0	0	0	0	0	0	0	0
1991/92	0	0	21,5	32	0	0	0	0	3	0	0	1,3
1992/93	15	17	10,5	0	0	0	0	0	0	0	3	0
1993/94	0	3,5	0	3	10,5	0	0	0	0	0	1,2	0
1994/95	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0
1995/96	0	19,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996/97	0	0	0	0	10,5	0,2	0	0	0	0	0	31,5
1997/98	0	4,5	47	0	50	11,5	0	0	0	0	17	0
1998/99	0	0	7	1,5	0	0	0	0	0	0	0	1,5
1999/00	7	0	5	0	0	0	8	0	0	0	0	0
2000/01	1	9	17	9,5	0	0	0	0	0	0	0	10
2001/02	1	0	0	0	0	0	5	0	3,5	0	0	0
2002/03	8	17	8	27	16	0	0	0	0	0	0	0
2003/04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004/05	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0
2005/06	11	0	3	5	0	13	0	0	0	0	0	0
2006/07	0	0	17	0	9	0	0	0	0	0	0	0
2007/08	0	8	2	0	0	10	0	0	0	0	0	0
2008/09	0	1,5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Promedio	1,7	3,317	8,274	7,66	4,52	2,25	0,71	0	0,155	0	1,55	3,48

Nota: Los valores rojos y subrayados corresponden a información rellena.

Tabla 6.10: Precipitación media mensual [mm] - Estación Las Vegas (GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011)

Las Vegas												
Año / Mes	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1967/68	0	9,4	31,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968/69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969/70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,8
1970/71	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971/72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
1972/73	0	0	4,4	6,2	3,7	13,8	0	0	0	0	0	0
1973/74	1	0	8,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1974/75	0	0	25,1	1,6	0	11,2	0	0	0	0	0	16,1
1975/76	0	0	14,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976/77	0	8	0	0	5,8	1,4	0	0	0	0	0	0
1977/78	1,6	0	3,7	3,6	0	0	0	0	0	0	0	0
1978/79	0	0	10,8	1,2	0	0	0	0	0	0	0	19,8
1979/80	0	0	0	0	0	3,5	0	0	0	0	7,2	0
1980/81	10,1	3,9	0	24	2,1	13,5	13,1	0	0	0	8,1	0
1981/82	0	0	0	0	28,1	0	0	0	0	0	0	0
1982/83	0	0	0	9	0	5,1	0	0	0	0	0	0
1983/84	0	6,2	27,4	4,7	3,6	0	0	0	0	0	0	32
1984/85	0	0	20	56,4	0	0	0	0	0	0	0	0
1985/86	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1986/87	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	27
1987/88	0	37	0	71,1	0	2	0	0	0	0	0	0
1988/89	0	0	0	0	0	5	0	0	0,1	0	0	0
1989/90	0	0	0	1	8	4	0	0	0	0	0	0
1990/91	1,1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1991/92	0	0	44	8	0	0	0	0	0	0	0	0
1992/93	0	12,5	9	5	0	0	0	0	0	0	16	0
1993/94	0	0	0	6	14	0	0	0	0	0	2	0
1994/95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995/96	0	26,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996/97	0	0	0	0	9	2	0	0	0	0	0	10,5
1997/98	0	7	35,1	0	40	0	2	0	0	0	3	0
1998/99	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1999/00	2	0	17	0	0	0	2	0	0	0	0	0
2000/01	3	29	16	15	0	0	0	0	0	0	0	0,5
2001/02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002/03	3	15	0	17	12	0	0	0	0	0	0	0



Las Vegas												
Año / Mes	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
2003/04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004/05	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0
2005/06	9	0	0	9	4	5	0	0	0	0	0	0
2006/07	0	7	5	0	16	0	0	0	0	0	0	0
2007/08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008/09	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0
Promedio	0,7	3,9	6,8	6,4	3,5	1,9	0,4	0,0	0,0	0,0	1,0	2,9

Nota: Los valores rojos y subrayados corresponden a información rellena.

Tabla 6.11: Precipitación media mensual [mm] - Estación Jorquera en la Guardia (GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011)

Jorquera en la Guardia												
Año/Mes	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1967/68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968/69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969/70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
1970/71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971/72	0	0	21,4	0	3,2	0	0	0	0	0	0	0
1972/73	0	0	34	13	15	12	0	0	0	0	0	0
1973/74	0	0	18,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1974/75	0	0	0	2,5	0	6	0	0	0	0	0	18
1975/76	0	3	29	0	0	0	0	0	0	0	3	3
1976/77	0	37	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0
1977/78	13	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
1978/79	0	0	10	2	0	0	0	0	0	0	0	12
1979/80	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2,5	0
1980/81	48	5	1	34	2	5	17	0	0	0	18	0
1981/82	0	0	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0
1982/83	0	2	0,5	6	0	26	0	0	0	0	0	0
1983/84	6	12	101,5	9	7	0	2,3	0	0	0	0	22
1984/85	0	0	25,5	61,5	0	0	0	0	0	0	0	1,4
1985/86	0	0	0	5,2	0	0	5,5	0	0	0	0	0
1986/87	0	19	0	5	34	0	3,2	0	0	0	5,2	6,2
1987/88	0	15,6	0	77,6	41,5	3,2	0	0	0	0	0	0
1988/89	0	9,2	0	0	0	4,2	0	0	0	0	0	0
1989/90	5,4	0	4,5	2,2	35,3	0	0	0	0	0	0	0
1990/91	0	0	0	18,5	0	0	0	0	0	0	0	0
1991/92	0	0	43	12,3	0	0	0	0	13,5	0	0	0
1992/93	20,5	19,2	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Jorquera en la Guardia												
Año/Mes	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1993/94	0	5,3	0	0	16,5	0	0	0	0	0	2,5	0
1994/95	0	0	0	0,5	3,5	0	0	0	0	0	0	0
1995/96	0	14,6	0	0	0	19,5	0	0	0	0	0	0
1996/97	0	0	0	0	11,5	11,6	0	0	0	0	0	16
1997/98	0	2,3	116,9	0	20,2	8,8	0	0	0	0	20,2	0
1998/99	0	2,3	14,9	0	0	0	0	0	0,5	0	0,5	10,5
1999/00	0	0	0	0	0	0	23,7	0	0	3,2	0	0
2000/01	14,5	12,5	22,4	11,4	0	0	0	0	0	0	3,2	30,8
2001/02	5,4	1,4	0	0	5,4	0	1	0	0	0	0	0
2002/03	19,9	65,6	6	11,5	12	0	0	0	0	0	0	0
2003/04	0	7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
2004/05	0	0	0	19	0	0	0	6,2	0	0	0	0
2005/06	11	0	0,5	4	3	3,5	0	0	0	0	2	0
2006/07	0	3	0,5	0	9	0	0	0	0	5	0	0
2007/08	0	25	32	0	0	15	0	0	0	0	1	2
2008/09	0	1	1,5	3,5	0	<u>3</u>	0	0	0	0	3	0
Promedio	3,4	6,3	11,9	7,3	6,8	2,9	1,3	0,1	0,3	0,2	1,5	3,2

Nota: Los valores rojos y subrayados corresponden a información rellena.

6.5.1.4 Precipitación estaciones de Lobo-Marte

Tabla 6.12: Estadística Mensual Precipitaciones periodo 2009-2010 en Estaciones del proyecto de Reinicio y Expansión Lobo-Marte (Amec, 2011).

	Estación Lobo	Estación Marte
	[mm]	[mm]
jul-09	3,7	0
ago-09	0	0
sep-09	8	0
oct-09	0	0
nov-09	0,1	0
dic-09	0,1	0
ene-10	18,7	5,5
feb-10	1,1	0
mar-10	0,7	0,2
abr-10	0	0
may-10	0,7	0,5
jun-10	0,7	0
jul-10	27,4	0

6.5.1.5 Radiación estaciones Lobo-Marte

Tabla 6.13: Estadística Mensual Radiación Solar (Watts/m2) periodo 2009-2010 en Estaciones del proyecto de Reinicio y Expansión Lobo-Marte (Amec, 2011).

Mes	Lobo			Marte		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
jul-09	0,0	194,2	974,0	s/d	s/d	s/d
ago-09	0,0	244,7	1078,7	s/d	s/d	s/d
sep-09	0,0	324,0	1164,1	0,0	299,9	1019,2
oct-09	0,0	374,3	1246,8	0,0	331,7	1157,6
nov-09	0,0	394,7	1217,0	0,0	387,8	1171,0
dic-09	0,0	417,6	1221,0	0,0	408,1	4981,0
ene-10	0,0	397,4	1229,0	0,0	386,8	1154,0
feb-10	0,0	375,8	1349,0	0,0	356,7	1156,0
mar-10	0,0	328,0	1132,0	0,0	312,0	1019,0
abr-10	0,0	259,6	1009,0	0,0	247,3	918,0
may-10	0,0	193,6	866,0	0,0	187,1	825,0
jun-10	0,0	171,6	914,0	0,0	163,9	746,1
jul-10	0,0	198,6	785,1	0,0	196,8	796,8

6.5.1.6 Presión estaciones Lobo-Marte

Tabla 6.14: Estadística Mensual de la Presión Atmosférica (hPa)

Mes	Lobo		
	Mín.	Prom	Máx
jul-09	609	620,3	624,9
ago-09	614,8	621,8	626,6
sep-09	612,5	620,3	626
oct-09	616	622	626,5
nov-09	619,6	622,7	625,5
dic-09	620,8	622,9	626
ene-10	620,2	623,3	625,4
feb-10	620,6	623,7	627,9
mar-10	619,2	624,5	627,7
abr-10	618,1	623,5	626,6
may-10	612,6	621,8	625,9
jun-10	615,4	621,7	626,6
jul-10	609,5	619,3	624,9

6.5.1.7 Evaporación de domo DICTUC

Tabla 6.15: Ubicación de puntos de monitoreo de Evaporación de domo

Zona	Punto	Este	Norte	Altura
		(m)	(m)	(msnm)
11	M1D1	495.562	7.029.335	3.801
11	M2D2	495.548	7.029.327	3.797
11	M3D1	495.656	7.029.377	3.795
11	M4D2	495.695	7.029.389	3.796
11	M5D1	484.232	7.004.141	3.804
12	M6D2	484.193	7.004.150	3.807
12	M7D1	484.270	7.004.146	3.808
12	M8D2	484.315	7.004.128	3.799
12	M9D1	465.612	7.029.354	3.795

**Tabla 6.16: Resultados campaña de evaporación DICTUC Zona 11, Salar de Maricunga Norte.**

Id	Fecha	Evaporación (mm/día)	Prof. napa (mbnt)	Textura	Clima	Densidad (g/l)
Tanque	12-03-2008	6,1	0	---	Despejado	1.027
M1D1	12-03-2008	0,441	0,72	Areno francoso	Despejado	1.000,50
M2D2	12-03-2008	1,458	0,15	Areno francoso	Despejado	1.000,50
M3D1	13-03-2008	0,347	1,2	Franco arenoso	Despejado	1.000
M4D2	13-03-2008	0,257	2,44	Franco arenoso	Despejado	1.000
M9D1	14-03-2008	0,458	0,54	Areno francoso	Despejado	1.000,50

Tabla 6.17: Resultados campaña de evaporación DICTUC Zona 12, Salar de Maricunga Sur.

Id	Fecha	Evaporación (mm/día)	Prof. Napa (mbnt)	Textura	Clima	Densidad (g/l)
Tanque	---	6,1	0	---	---	---
M5D1	15-03-2008	0,396	0,53	Arena	Despejado	1.000
M6D2	15-03-2008	0,816	0,24	Franco arenoso	Despejado	1.000
M7D1	16-03-2008	0,328	0,8	Areno francoso	Despejado	1.000
M8D2	16-03-2008	0,266	1,08	Areno francoso	Despejado	1.001

6.5.1.8 Humedad relativa estaciones Lobo-Marte

Tabla 6.18: Estadística Mensual Humedad Relativa (%), (AMEC, 2011)

Mes	Lobo			Marte			LM-02 (Maricunga)			LM-06		
	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.
jul-09	3,2	26	93	3,2	27,2	92,6	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
ago-09	1,9	20,2	84,5	2,2	20,9	79,7	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
sep-09	2,7	15,2	61,4	2,8	15,6	63,5	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
oct-09	2,2	16,8	54,1	2,2	17,4	58,3	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
nov-09	3	18,8	90	3,1	19,4	86,5	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
dic-09	3	23,9	67,8	3,7	24,1	68,2	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
ene-10	1,9	30,7	98,1	2,3	31,1	95,4	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
feb-10	4,9	23,9	63,4	4,7	24,7	66,2	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
mar-10	2,1	20,9	85,2	2,6	21,6	84,5	2	21,5	61	1,8	19	60,7
abr-10	3,9	20,8	63,4	3,5	21,9	69,2	2,7	22	71	2,5	20,9	78,5
may-10	7,4	40,3	96,4	7	43	97,7	3,3	46,3	100,1	5,9	45,3	100
jun-10	8,1	29,1	94,2	6,7	30,1	94,9	5,6	29,5	98,6	7,5	31,7	104,7
jul-10	4,3	18,1	71,8	4,1	18,6	66,9	2,1	17,8	69,8	2,4	17,9	73,6

Fuente: AMEC, 2011.

s/d: sin datos, estaciones comenzaron a medir en marzo de 2010

6.5.1.9 Viento estaciones Lobo-Marte

Tabla 6.19: Estadística Mensual de la Velocidad del Viento (m/s)

Mes	Lobo			Marte			LM-02			LM-06		
	Mín.	Prom	Máx	Mín.	Prom	Máx	Mín.	Prom	Máx	Mín.	Prom	Máx
jul-09	0,5	5	18,9	0,6	5,7	21,2	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
ago-09	0,6	5,7	15,1	0,7	6,3	18,7	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
sep-09	0,5	7,9	20	0,5	9	21,4	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
oct-09	0,5	6,2	17	0,6	7	18,8	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
nov-09	0,6	5,6	13,8	0,6	6,2	16,5	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
dic-09	0,5	5,2	12,8	0,6	5,8	15,5	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
ene-10	0,6	4,9	12,8	0,6	5	16	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
feb-10	0,4	5,3	13,8	0,6	5,8	19,1	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
mar-10	0,5	4,5	12,9	0,7	4,8	15,9	0,3	4,6	16,1	0,4	4,5	13,9
abr-10	0,5	5,3	16,6	0,7	6,1	17,8	0,3	4,8	16,2	0,4	5,7	18,8
may-10	0,5	5,2	19,6	0,6	5,6	20,6	0,2	4,5	20,8	0,4	5,9	21,4
jun-10	0,6	6,3	16,8	0,7	7,6	20,8	0,3	5,6	19,1	0,6	7,6	20,3
jul-10	0,5	7,3	22,1	0,7	8,3	22,5	0,3	5,9	23,2	0,2	7,9	24,6

6.5.2 Datos Fluviométricos

Tabla 6.20: Puntos de medición de nivel continuo de agua. Proyecto Lobo- Marte.

Punto monitoreo	Coincidente con punto de muestreo de calidad de agua	UTM Norte [m]	UTM Este [m]	Período de medición	Frecuencia de medición [min]	Área aportante [km ²]	Descripción punto monitoreo
EFG-1	SWG-1	6.960.721	475.855	Ene. 2010 – dic. 2010	30	692,7	Laguna roja Negro Francisco
EFG-2	SWG-2	6.960.612	476.278	Ene. 2010 – dic. 2010	30	692,7	Laguna verde Negro Francisco
EFG-3	SWG-5	6.966.638	496.698	Ene. 2010 – dic. 2010	3	79,2	Aguas abajo vega en Pantanillo
EFG-4	SWG-6	6.984.053	499.499	Ene. 2010 – dic. 2010	3	359	Estación DGA – Valle Ancho, antes Barros Negros
EFG-5	SWG-7	6.983.902	499.901	Ene. 2010 – dic. 2010	3	86,5	Estación DGA – Barros Negros antes junta Valle Ancho
EFG-6	Cerca LM-35	6.990.933	498.659	Ene. 2010 – dic. 2010	3	100,2	Aguas abajo de vega Villalobos
EFG-7	Cerca LM-34	6.990.626	497.024	Ene. 2010 – dic. 2010	3	96,6	Estación DGA – Río Villalobos en Vertedero
EFG-8	SWG-14	6.997.788	499.493	Ene. 2010 – dic. 2010	3	258,9	Estación DGA – Río Valle Ancho en La Barrera
EFG-9	SWG-17	7.003.548	483.773	Ene. 2010 – dic. 2010	30	1.251,40	Laguna Santa Rosa sur
EFG-10	SWG-18	7.003.983	483.783	Ene. 2010 – dic. 2010	30	1.251,40	Laguna Santa Rosa norte

Tabla 6.21: Puntos medición mensual manual de caudal. Proyecto Lobo- Marte.

Punto monitoreo	UTM Norte [m]	UTM Este [m]	Descripción punto monitoreo
EGG-1	6.960.570	476.143	Entre los 2 lagunas en Negro Francisco
EGG-2	6.961.972	495.377	Estación DGA-Río Astaburuaga en Cono
EGG-3	6.988.694	494.275	Vega aguas arriba de Villalobos
EGG-4	6.990.869	496.442	Vega entremedio de Vega Villalobos al lado infraestructura destruida
EGG-5	7.004.461	506.886	Estación DGA-Lamas en El Salto

Tabla 6.22: Mediciones Manuales de Caudales en Estaciones Golder. Proyecto Lobo- Marte.

Punto monitoreo fecha mediciones	Flujo (m ³ /s)										
	dic-09	ene-10	feb-10	mar-10	abr-10	may-10	jun-10	jul-10	ago-10	sep-10	oct-10
EGG-1	-	<0,001	<0,001	0,005	<0,001	0,284	-	Congelado	Congelado**	0,482	0,157
EGG-2	0,107	0,061	0,098	0,269	0,096	Congelado	Congelado*	Congelado	Congelado**	Congelado	0,092
EGG-3	0,027	0,045	0,033	0,038	0,034	0,042	Congelado*	Congelado	Congelado**	0,05	0,04
EGG-4	0,007	0,002	0,002	0,026	0,032	0,043	Congelado*	Congelado	Congelado**	0,05	0,033
EGG-5	-	0,39	0,381	-	-	0,447	con caudal*	0,384	-	0,397	0,376
EFG-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EFG-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EFG-3	0,003	0,004	0,002	0,003	0,003	Congelado	Congelado*	Congelado	Congelado	Congelado	-
EFG-4	0,0034	0,043	0,041	0,076	0,073	Congelado	Congelado*	Congelado	Congelado	Congelado	0,082
EFG-5	0,036	0,04	0,042	0,06	0,065	Congelado	Congelado*	Congelado	Congelado	Congelado	0,071
EFG-6	0,025	0,02	0,028	0,044	0,045	0,055	Congelado*	Congelado	Congelado	Congelado	0,044
EFG-7	0,058	0,056	0,057	0,068	0,098	0,089	con caudal	0,086	-	0,089	0,084
EFG-8	0,017	0,008	0,01	0,013	0,017	0,038	Congelado*	Congelado	Congelado	Congelado	0,033
EFG-9								-		-	
EFG-10								-		-	

(-): sin información

*Durante este mes no existieron mediciones debido al congelamiento de los cauces, la falta de acceso y a que el equipo falló por el exceso de frío en las dos estaciones donde era posible medir caudal (EGG-5 y EFG-7).

**Debido a condiciones de acceso y limitaciones meteorológicas de invierno el full suite de muestreo de agosto 2010 se realizó a comienzos de septiembre 2010

Fue común que la estación EGG-1, ubicada entre las lagunas Negro Francisco, presentara un escurrimiento muy débil y demasiado somero como para ser medido por el instrumento, por lo tanto, el caudal fue estimado como menor a 1 l/s.

6.5.3 Información Estudio Hidrogeológico Lobo Marte

Tabla 6.23: Pozos de monitoreo del proyecto Lobo Marte

Pozo ID	Este	Norte	Cota (msnm)	Diámetro Perforación	Diámetro Habilitación	Largo Final (m)	Piezómetro: Tramo Ranurado			Unidad Monitoreada	Nivel Agua (m bss)	Elevación Nivel Agua (msnm)	Fecha Medición Nivel Agua	Observaciones
RPG-1	500.292,47	6.986.067,75	4.050,35	8"	4"	61	40	-	58	Sedimento	21,02	4.029,33	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-2	499.511,40	6.986.375,37	4.054,83	8"	4"	74	58,85	-	73,85	Roca + Sedimento	54,39	4.000,44	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-3A	497.703,16	6.986.816,75	4.097,55	8"	4"	55,4	34,15	-	52,15	Roca	11,81	4.085,74	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-4A	499.392,45	6.986.911,36	4.050,60	8"	4"	85,5	70,5	-	82,5	Roca	56,41	3.994,19	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-4B	499.403,02	6.986.909,72	4.050,48	8"	4"	61	51,85	-	57,85	Sedimento	53,25	3.997,23	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-5B	499.330,14	6.987.498,24	4.042,28	8"	4"	86,5	65,35	-	83,35	Sedimento	60,24	3.982,04	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-6	497.984,22	6.987.479,53	4.091,39	8"	4"	73,65	58,5	-	70,5	Roca	50,18	4.041,21	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-7	497.104,98	6.987.171,40	4.116,91	8"	4"	49	24,85	-	42,85	Roca	2,43	4.114,48	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-8	499237,877	6.988.316,24	4.032,35	8"	4"	92,2	77,5	-	89,5	Sedimento	66,93	3.965,42	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-9A	498.978,88	6.989.044,01	4.023,55	8"	4"	80	64,85	-	76,85	Sedimento	59,06	3.964,49	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-10	498.738,07	6.989.466,19	4.016,59	8"	4"	81	59,85	-	77,85	Sedimento	52,32	3.964,27	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-11	498.657,89	6.991.127,49	3.995,49	8"	4"	18	3	-	8,85	Sedimento	4,92	3.990,57	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C



Pozo ID	Este	Norte	Cota (msnm)	Diámetro Perforación	Diámetro Habilitación	Largo Final (m)	Piezómetro: Tramo Ranurado			Unidad Monitoreada	Nivel Agua (m bss)	Elevación Nivel Agua (msnm)	Fecha Medición Nivel Agua	Observaciones
RPG-12A	498.414,25	6.993.389,49	4.040,79	8"	4"	91,5	22,19	-	85,42	Roca	14,22	4.026,57	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-12B	498.418,78	6.993.391,70	4.040,48	8"	4"	24	13,85	-	19,85	Roca	13,93	4.026,55	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-13	497.059,66	6.993.797,22	4.205,79	8"	4"	99	71,85	-	89,85	Roca	55,43	4.150,36	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-14	498.856,91	6.993.699,42	3.999,01	8"	4"	134	29,85	-	47,85	Roca + Sedimento	11,65	3.987,36	18/04/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-15	499.179,56	6.995.398,56	3.991,64	8"	4"	61	42,85	-	54,85	Sedimento	38,59	3.953,05	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-16	499.970,36	6.995.446,10	3.954,14	8"	4"	21,26	3	-	14,84	Sedimento	2,7	3.951,44	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-17	500.179,34	6.992.755,18	4.003,80	8"	4"	55	43,05	-	49	Sedimento	43,83	3.959,97	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-18B	500.498,54	6.993.115,28	3.997,58	8"	4"	74	40,4	-	64,12	Sedimento	38,19	3.959,39	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-19	500.880,01	6.992.641,15	4.017,54	8"	4"	68	58,15	-	64,15	Sedimento	57,81	3.959,77	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-20	501.135,56	6.991.836,85	4.036	8"	4"	105,4	75,6	-	99,32	Sedimento	74,03	3.961,97	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-21c	494.894,85	6.962.444,75	4.279,29	8"	4"	96	30	-	60	Roca + Sedimento	30,32	4.248,97	02/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
							78	-	90					
RPG-22	496.007,33	6.964.570,66	4.256,65	8"	4"	91	20	-	56	Roca + Sedimento	15,29	4.241,36	02/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
							62	-	74					
RPG-23	499.364,01	6.992.737,19	3.980,67	8"	4"	50	19,85	-	43,85	Sedimento	20,42	3.960,25	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-24	499.528,38	6.993.109,57	3.976,83	8"	4"	46,2	27,05	-	45,05	Sedimento	16,96	3.959,87	01/09/2010	datos de pruebas



Pozo ID	Este	Norte	Cota (msnm)	Diámetro Perforación	Diámetro Habilitación	Largo Final (m)	Piezómetro: Tramo Ranurado			Unidad Monitoreada	Nivel Agua (m bss)	Elevación Nivel Agua (msnm)	Fecha Medición Nivel Agua	Observaciones
													y estratigrafía Anexo C	
RPG-25	499.427,44	6.992.940,93	3.978,83	8"	4"	50	19,85	-	43,85	Sedimento	18,65	3.960,18	01/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
RPG-26	499.342,95	6.998.561,44	3.927,11	10"	4"	73,5	56	-	68	Roca	14,22	3.912,89	01/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
RPG-27	499.528,09	6.998.523,38	3.927,59	18" y 16"	4"	110	68	-	104	Sedimento	52,39	3.875,20	01/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
RPG-28	499.541,42	6.998.130,96	3.930,86	10"	4"	96	24,13	-	52,73	Roca + Sedimento	14,24	3.916,62	01/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
							58,45	-	92,77					
RPG-29	499.189,48	6.999.457,14	3.919,47	16"	4"	94	67,85	-	85,85	Sedimento	50,79	3.868,68	01/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
RPG-31	496.743,41	6.966.540,11	4.237	8"	4"	16	4	-	10	Sedimento	1,88	4.235,12	02/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
RPG-32	494.519,02	6.961.979,30	4.274,51	14" y 8"	4"	60	24	-	54	Sedimento	23,83	4.250,68	02/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
RPG-33	499.343,61	6.988.523,06	4.026,57	8"	4"	80,3	65,15	-	77,85	Sedimento	61,34	3.965,23	01/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
RPG-34	496.960,73	6.993.813	4.229,68	7 7/8"	4"	134,8	119,5	-	131,5	Roca	79,32	4.150,36	01/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
RPG-35	498.077,25	6.988.961,44	4.055,68	8"	4"	133	117,85	-	129,85	Roca	44,2	4.011,48	01/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
RPG-37	495.923,41	6.987.034,71	4.336,34	8"	4"	183,5	46,66	-	177,04	-	Seco	Seco	01/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
RPG-38	494.598,14	6.962.292,39	4.277,05	8"	4"	80	32	-	74	Roca + Sedimento	27,25	4.249,80	02/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C
RPG-39	498.586,38	6.992.298,49	4.019,18	8" y 7 7/8"	4"	96,8	72,65	-	90,65	Roca	45,94	3.973,24	01/09/2010	datos de pruebas y estratigrafía Anexo C



Pozo ID	Este	Norte	Cota (msnm)	Diámetro Perforación	Diámetro Habilitación	Largo Final (m)	Piezómetro: Tramo Ranurado			Unidad Monitoreada	Nivel Agua (m bss)	Elevación Nivel Agua (msnm)	Fecha Medición Nivel Agua	Observaciones
RPG-40	502.057,16	6.991.128,58	4.067,72	16"-14"	4"	156	143	-	155	Sedimento	102,07	3965,65	16/11/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-41	500.927,72	6.990.553,19	4.040,76	16"-14"	4"	117	79,85	-	91,85	Sedimento	77,83	3.962,93	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-42	500.196,37	6.991.154,33	4.020,16	16"-14"	4"	95	63,1	-	80,85	Sedimento	57,7	3.962,46	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-43	499.278,28	6.992.136,58	3.986,42	16"-14"	4"	54,1	33,94	-	45,78	Sedimento	23,92	3.962,50	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-44	498.631	6.990.994,13	3.996,97	14"	4"	41	33	-	39	Sedimento	32,44	3.964,53	15/11/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-45A	499.404,06 *	6.997.100,06 *	3.942,86	8"	4"	24	9	-	21	Sedimento	4,47	3.938,39	16/11/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-45B	499.404,06 *	6.997.100,06 *	3.942,86	16"	4"	94,65	68,6	-	86,6	Roca	24,89	3.917,97	16/11/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
RPG-21	494.532,04	6.961.972,68	4.274,65	20"-18"-16"	12"	120	29,44	-	41,44	Sedimento	24	4.250,65	02/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
							47,45	-	71,45					
RPG-30	499.552,78	6.998.122,72	3.930,75	16"	12"	106	20	-	50	Roca + Sedimento	14,02	3.916,73	01/09/2010	datos de pruebas y estadigrafía Anexo C
							56	-	80					
							94	-	100					

(*): Ubicación aproximada

Tabla 6.24 Resumen Información pozos para pruebas hidráulicas en rajo Marte

Pozo ID	Este	Norte	Cota (msnm)	Azimuth	Inclinación	Empresa Perforista	Largo Perforado (m)	Habilitación	Nivel Agua (m bss)	Elevación Nivel Agua (msnm)	Fecha Medición Nivel Agua
PTG-1A	497.006,28	6.993.950,3,5	4.229,41	222*	69*	Boart Longyear	262	Piezómetro	79,56	4.149,85	oct-11
PTG-2A	497.298,65	6.993.942,96	4.269,20	60*	62*		299	Derrumbado	170,08	4.099,12	feb-10
PTG-3A	497.225,72	6.994.203,24	4.268,85	0*	90*		206	Espera instalación cuerda vibrante	111,63	4.157,22	oct-11
PTG-4A	496.979,29	6.994.215,36	4.319,40	233*	69*		239	Piezómetro	130	4.189,35	abr-10
PTG-5B	497.477,26	6.994.257,34	4.258,54	220*	70*		245	Piezómetro	180,57	4.077,97	oct-11
PTG-6A	497.157,50	6.994.494,68	4.339,88	218*	67*		220	Piezómetro	50,6	4.289,28	mar-11
PTG-7A	496.762,65	6.993.979,28	4.320,79	38*	70*		225	Espera instalación cuerda vibrante	169,4	4.151,39	abr-11

Tabla 6.25: Resumen Información pozos para pruebas hidráulicas en rajo Lobo

Pozo ID	Este	Norte	Cota (msnm)	Azimuth	Inclinación	Empresa Perforista	Largo Perforado (m)	Habilitación	Nivel Agua (m bss)	Elevación Nivel Agua (msnm)	Fecha Medición Nivel Agua
PTG-8A	496.551,97	6.987.435,86	4.159,02	0**	90**	Boart Longyear	236	Espera instalación cuerda vibrante	32,91	4.126,11	oct-11
PTG-9A	496.449,18	6.987.920,31	4.233,95	60**	70**		260	Piezómetro	105,62	4.128,33	ago-10
PTG-10A	496.235,24	6.987.711,40	4.212,22	240**	70**		250	Piezómetro	81,97	4.130,25	oct-11
PTG-11A	496.148,72	6.987.199,60	4.375,82	240**	70**		400	Espera instalación cuerda vibrante	249,07	4.126,80	oct-11
PTG-12A	496.671,68	6.986.930,66	4.194,92	60**	70**		242	Piezómetro	67,11	4.127,80	oct-11
PTG-13A	497.044,31	6.987.773,15	4.259,49	240**	70**		301	Piezómetro	131,21	4.128,30	oct-11
PTG-14A	496.036,42	6.987.999,49	4.308,53	240**	70**		320	Piezómetro	177,48	4.131,10	nov-10

Tabla 6.26: Características y medición de nivel de agua en punteras

ID	Sector	Coordenadas GPS (WGS84)		Fecha realización	Profundidad (m)	Profundidad de agua (m bss) abr/mayo 2010	Profundidad de agua (m bss) julio 2010	Profundidad de agua (m bss) octubre 2010
		ESTE	NORTE					
P01A	Vega Villalobos	494.116	6.988.409	28/04/2010	1	0,9	(*)	PVC tapado
P02A		494143	6988310	28/04/2010	1	0,89	(*)	0,64
P03A		494243	6989114	28/04/2010	1	0,95	(*)	seco
P05A		494578	6991030	28/04/2010	1	0,53	(*)	0,37
P06A		494807	6990627	28/04/2010	1	0,86	(*)	PVC tapado
P07A		495726	6991005	01/05/2010	1	seco	(*)	PVC tapado
P08A		497373	6990756	01/05/2010	0,45	seco	(*)	0,22
P09B		497666	6990912	01/05/2010	1	seco	(*)	punto no encontrado
P10B		498198	6990817	01/05/2010	0,5	seco	(*)	en superficie
P11A		Vega Ciénaga Redonda	499659	6996122	01/05/2010	1	seco	(*)
P12A	500170		6996075	11/07/2010	0,8	seco	(*)	0,54
P13A	Vega Barros Negros	498884	6981086	01/05/2010	1	seco	(*)	punto no encontrado
P14		499663	6981386	08/05/2010	1	0,7	(*)	punto no encontrado
M01	Laguna Santa Rosa	483815	7003274	11/07/2010	1,25	No han sido construidas a esta fecha	0,5	0,46
M02		484288	7004376	10/07/2010	1,25		0,27	punto no encontrado
M03		484789	7005534	09/07/2010	1,25		0,17	punto no encontrado
M04		485384	7006873	10/07/2010	1,25		0	punto no encontrado
M05		485956	7008319	08/07/2010	0,9		0	punto no encontrado
M06		484559	7004241	11/07/2010	2,16		1,55	punto no encontrado
M07		485504	7006753	11/07/2010	1,25		0,62	punto no encontrado
M08		486122	7008223	08/07/2010	1,25		0,15	punto no encontrado

Nota: (*) punto no accesible por condiciones climáticas.

Tabla 6.27: Resumen resultados pruebas de bombeo. Método de Cooper Jacob

Sector	Método Análisis	Pozos	Distancia a Pozo de bombeo (m)	Descenso Máximo* (m)	Unidad Hidrogeológica a monitoreada	T bombeo (m ² /d)	T recuperación (m ² /d)	T (m ² /día)	Radio teórico de influencia	S
Ciénaga Redonda Norte	Descenso/ ascenso en el Pozo	RPG-30 (bombeo)	0	2,49	Basamento Rocoso + Acuífero Aluvial	8100 (entre 2 y 80 min) y 8208 (entre 1500 a 8000 min)	14056		3 km (luego de 7 días)	0,00004
		RPG-26 (observación)	486	0,27	Basamento Rocoso (acuífero volcánico fracturado)	3467				0,04
		RPG-27 (observación)	401	0,04	Acuífero de arena y grava	no hay grandes cambios en el nivel de agua ya que actúa una recarga				
		RPG-28 (observación)	14	0,86	Basamento Rocoso + Acuífero Aluvial	10779 (entre 500 a 01500 min) y 6801 (entre 300 a 10000 min)	14056 y 6801			0,006
		RPG-29 (observación)	1383	0,00	Acuífero de rocas consolidadas	no hay grandes cambios en el nivel de agua ya que actúa una recarga				
	Distancia/ descenso	-	-	-	-	-	-	7000	-	1*10 ⁻²
<p>Notas: (*): Las mediciones al final de la prueba de bombeo a caudal constante, son antes de finalizar el bombeo</p>										

Tabla 6.27: Resumen resultados pruebas de bombeo. Método de Cooper Jacob. Continuación

Sector	Método Análisis	Pozos	Distancia a Pozo de bombeo (m)	Descenso Máximo* (m)	Unidad Hidrogeológica a monitoreada	T bombeo (m2/d)	T recuperación (m2/d)	T (m2/día)	Radio teórico de influencia	S
Ciénaga Redonda Central - Marte	Descenso/ ascenso en el Pozo	Marte N°1 (bombeo)	0	3,05	Acuífero Aluvial	10506 (entre 100 a 1000 min) y 6415 (entre 1000 y 4000 min)	11856		3,5 km (luego de 6,3 días)	
		RPG-17 (observación)	830	0,09		no hay grandes cambios en el nivel de agua				
		RPG-23 (observación)	217	0,50	Acuífero Aluvial					
		RPG-24 (observación)	219	0,52	Acuífero Aluvial					
		RPG-25 (observación)	52	0,80	Acuífero Aluvial	13952 (100 a 700 minutos de bombeo)	13295 (entre 20 y 200 minutos después de detener el bombeo)			
	Distancia/ descenso							10506		0,0138
Notas: (*): Las mediciones al final de la prueba de bombeo a caudal constante, son antes de finalizar el bombeo										

Tabla 6.27: Resumen resultados pruebas de bombeo. Método de Cooper Jacob. Continuación

Sector	Método Análisis	Pozos	Distancia a Pozo de bombeo (m)	Descenso Máximo* (m)	Unidad Hidrogeológica monitoreada	T bombeo (m ² /d)	T recuperación (m ² /d)	T (m ² /día)	Radio teórico de influencia	S
Pantaniillo	Descenso/ ascenso en el Pozo	RPG-21 (bombeo)	0	15,73	Acuífero Aluvial/Arena y grava no consolidada	2928(*) (entre 1500 a 5800 min)			2,2 km (luego de 4 días)	n/a
		RPG-38 (observación)	331	0,93	Basamento Rocoso + Acuífero Aluvial / Arena y grava no consolidada/ techo de roca	1437 (entre 30 a 450 min)	1437 (entre 70 a 245 min, despues de la detención de la bomba)			3,2*10 ⁻⁴
		RPG-21c (observación)	601	0,20	Basamento Rocoso + Acuífero Aluvial / Arena y grava no consolidada/ techo de roca	11293 (entre 100 a 1200 min)	11293 (entre 390 a 855 min, despues de la detención de la bomba)			9,8*10 ⁻⁴
		RPG-22 (observación)	3000	0,00						
		RPG-31 (observación)	5010	0,00						
		RPG-32 (observación)	20	1,38	Arena y grava no consolidada/ techo de roca	5270 (entre 100 a 1200 min)	5271 (entre 305 a 1930 min)			8,2*10 ⁻⁸
	Distancia/ descenso	-	-					2000		3,7*10 ⁻³

Notas: (*): Las mediciones al final de la prueba de bombeo a caudal constante, son antes de finalizar el bombeo

Tabla 6.28: Datos de pruebas de bombeo realizadas en otros estudios y referenciados por Golder 2011

Sector	Método Análisis	Pozos	Distancia a Pozo de bombeo (m)	Unidad Hidrogeológica monitoreada	Caudal de la prueba (l/s)	Periodo de la prueba (min)	Transmisividad (m ² /d)	S (adimensional)
Pantaniillo	Descenso/ ascenso en el Pozo	RA-1(1)	0	Acuífero Aluvial			1932	n/a
		RA-2(1)	0	Acuífero Aluvial			6640	n/a
		RA-3(1)	0	Acuífero Aluvial			614	n/a
Maricunga	Descenso/ ascenso en el Pozo	MDO-23(2)	0	Acuífero Aluvial	140	7200	39758 (método Walton) – 110810 (método de Jacob)	n/a
		MDO-24(2)	0	Acuífero Aluvial	110	2880	31549 (método Walton) – 43533 (método de Jacob)	n/a

Notas:
n/a: no aplica
(1): Datos de Minera Maricunga, recopilados en Memo Técnico 099 215 5008-MT 024 rev.2.
(2): Geoestudios, 1989.

Tabla 6.29: Análisis adicionales de pruebas de bombeo en el pozo Marte N°1

Sector	Pozos	Método Análisis	T, bombeo (m ² /d)	T, recuperación (m ² /d)	S, bombeo	S, recuperación	Sy, bombeo	Sy, recuperación	Kz/Kr	Kz/Kr, recuperación	Kz/Kr, bombeo
Ciénaga Redonda central - Marte	Marte N°1 (bombeo)	Método de Neuman 1974	10000		0,002		0,079		0,002		
		método de Moench 1997	11500	11000	0,002	0,002	0,078	0,070		0,002	0,008

6.6 Datos del estudio de Evaluación Ambiental del Proyecto Minero Volcán

Tabla 6.30: Resumen estadístico de parámetros físico químicos cuenca Laguna del Negro Francisco

Parámetros	Estadístico	Sistema lacustre		Sistema fluvial				Agua subterránea
		Laguna salada (Negro Francisco)	Laguna salobre (Negro Francisco)	Sector norte laguna salada	Sector noreste laguna salobre	Río La Gallina	Quebrada de La Sal	Quebrada de La Sal
	PUNTOS	A13	A14	A30, A31, A32	A28, A29	A21	A5, A23, A34, A35, A36, A37, A38, A39	P7, VCA06, VCA07, VCA08, VCA10, VCA11, VCA12, VCA13
	N° muestras	6	6	15	10	6	24	21
pH	Promedio	7,8	8,5	7,8	7,8	7,2	5,5	7,1
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Promedio	184067	5554	1430	1433	170	688	551
Sólidos totales disueltos (mg/l)	Promedio	135785	3697	912	985	107	443	356
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Promedio	2594	137	24	16	16	14	189
Alcalinidad total (mg/l CaCO ₃)	Promedio	1753	167	54	55	73	8	29
Alcalinidad bicarbonato (mg/l CaCO ₃)	Promedio	1689	164	53	53	73	8	29
Alcalinidad carbonato (mg/l CaCO ₃)	Promedio	64	4	2	17	1	1	1
Turbidez (UNT)	Promedio	157,7	26	6,9	3,2	2	4,4	57
RAS	Promedio	149,3	10,2	3,2	3,4	0,3	0,9	0,9

Tabla 6.31: Promedio por parámetro: Metales totales cuenca Laguna del Negro Francisco.

Parámetros	Estadístico	Sistema lacustre		Sistema fluvial				Agua subterránea
		Laguna salada (Negro Francisco)	Laguna salobre (Negro Francisco)	Sector norte laguna salada	Sector noreste laguna salobre	Río La Gallina	Quebrada de La Sal	Quebrada de La Sal
	PUNTOS	A13	A14	A30, A31, A32	A28, A29	A21	A5, A23, A34, A35, A36, A37, A38, A39	P7, VCA06, VCA07, VCA08, VCA10, VCA11, VCA12, VCA13
	N° muestras	6	6	15	10	6	24	21
Mercurio (mg/l)	Promedio	<0,00005	<0,00005	0,00011	<0,00005	0,000055	0,00005	0,00007
Plata (mg/l)	Promedio	<0,01	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,00008
Aluminio (mg/l)	Promedio	3,11	2,03	0,38	0,25	0,01	3,37	2,6
Arsénico (mg/l)	Promedio	61,383	2,544	0,468	0,55	0,002	0,041	0,065
Boro (mg/l)	Promedio	946,33	14,32	3,51	1,68	0,05	0,29	0,16
Bario (mg/l)	Promedio	0,1483	0,0664	0,0156	0,0137	0,1166	0,0095	0,055
Berilio (mg/l)	Promedio	<0,5	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025
Bismuto (mg/l)	Promedio	<0,5	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025
Calcio (mg/l)	Promedio	341	170	86	76	20	85	69
Cadmio (mg/l)	Promedio	0,045	<0,0025	0,00027	0,00027	0,00025	0,00059	0,00047
Cobalto (mg/l)	Promedio	<0,1	0,0012	0,0006	0,0005	0,0009	0,01	0,00211
Cromo (mg/l)	Promedio	<0,5	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,0037
Cobre (mg/l)	Promedio	0,0323	0,0079	0,0017	0,0011	<0,0005	0,0117	0,0443
Hierro (mg/l)	Promedio	1,18	2,3	0,53	0,37	2,32	0,14	2,42
Potasio (mg/l)	Promedio	5015	69	17	23	2	4	5
Litio (mg/l)	Promedio	422	4,98	1,29	0,59	0,02	0,08	0,04
Magnesio (mg/l)	Promedio	8245	99	30	22	4	9	9
Manganeso (mg/l)	Promedio	0,81	0,23	0,07	0,04	0,84	0,18	0,126
Molibdeno (mg/l)	Promedio	0,0594	0,0147	0,0025	0,0041	<0,00025	0,0007	0,00119
Sodio (mg/l)	Promedio	65967	823	142	149	7	29	24,7
Níquel (mg/l)	Promedio	<0,5	0,004	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,0074	0,0049
Fósforo (mg/l)	Promedio	1,4	0,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,3
Plomo (mg/l)	Promedio	0,05	0,00447	0,00171	0,00177	0,00026	0,00036	0,0048
Antimonio (mg/l)	Promedio	0,1407	0,0022	0,0006	0,0011	<0,0005	<0,0005	0,00056
Selenio (mg/l)	Promedio	<1	0,007	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,0068
Silicio (mg/l)	Promedio	51,9	19,4	22,6	25,5	13,5	18,4	22
Estaño (mg/l)	Promedio	0,0748	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0008
Estroncio (mg/l)	Promedio	16,94	1,53	0,71	0,37	0,1	0,3	0,21647
Titanio (mg/l)	Promedio	<0,05	0,04	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,066
Talio (mg/l)	Promedio	<0,2	<0,0005	0,0006	0,0006	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Uranio (mg/l)	Promedio	0,0255	0,0019	0,00023	0,00018	<0,00005	0,00032	0,00024



Parámetros	Estadístico	Sistema lacustre		Sistema fluvial				Agua subterránea
		Laguna salada (Negro Francisco)	Laguna salobre (Negro Francisco)	Sector norte laguna salada	Sector noreste laguna salobre	Río La Gallina	Quebrada de La Sal	Quebrada de La Sal
	PUNTOS	A13	A14	A30, A31, A32	A28, A29	A21	A5, A23, A34, A35, A36, A37, A38, A39	P7, VCA06, VCA07, VCA08, VCA10, VCA11, VCA12, VCA13
	N° muestras	6	6	15	10	6	24	21
Vanadio (mg/l)	Promedio	0,282	0,02	0,009	0,011	<0,005	0,005	0,0071
Zinc (mg/l)	Promedio	0,327	0,046	0,042	0,036	0,034	0,077	0,0737
Cloruro (mg/l)	Promedio	109133	1113	245	159	6	10	10
Sulfato (mg/l)	Promedio	28638	985	323	415	19	305	242
cianuro (mg/l)	Promedio	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002
Fosfato (mg/l)	Promedio	12,82	0,51	0,1	0,11	0,02	0,04	0,09
Nitrito (mg/l)	Promedio	0,15	0,03	0,03	0,02	<0,01	0,02	0,03

Tabla 6.32: Resumen estadístico de parámetros Orgánicos cuenca Laguna del Negro Francisco

Parámetros	Estadístico	Sistema lacustre		Sistema fluvial				Agua subterránea
		Laguna salada (Negro Francisco)	Laguna salobre (Negro Francisco)	Sector norte laguna salada	Sector noreste laguna salobre	Río La Gallina	Quebrada de La Sal	Quebrada de La Sal
	PUNTOS	A13	A14	A30, A31, A32	A28, A29	A21	A5, A23, A34, A35, A36, A37, A38, A39	P7, VCA06, VCA07, VCA08, VCA10, VCA11, VCA12, VCA13
	N° muestras	6	6	15	10	6	24	21
Aceites y Grasas (mg/l)	Promedio	510,5	<10	<10	<10	<10	<10	<2
Hidrocarburos totales del petróleo (mg/l)	Promedio	1,3	<1	<1	<1	<1	<1	<1
DBO5 (mg/l)	Promedio	83,6	8	3,5	3,2	3,3	2,8	3,1
DQO (mg/l)	Promedio	20339	43	20	<20	17	18	20
Hidrocarburos fijos (mg/l)	Promedio	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<2
Detergentes (mg/l)	Promedio	0,13	0,09	0,08	0,07	0,04	0,03	0,03

Tabla 6.33: Resumen estadístico de parámetros Microbiológicos cuenca Laguna del Negro Francisco

Parámetros	Estadístico	Sistema lacustre		Sistema fluvial			
		Laguna salada (Negro Francisco)	Laguna salobre (Negro Francisco)	Sector norte laguna salada	Sector noreste laguna salobre	Río La Gallina	Quebrada de La Sal
	PUNTOS	A13	A14	A30, A31, A32	A28, A29	A21	A5, A23, A34, A35, A36, A37, A38, A39
	N° muestras	6	6	15	10	6	24
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Promedio	<1,8	2,3	3	2,3	2,3	4,9
Coliformes totales (NMP/100 ml)	Promedio	<1,8	198	270,1	323	103,8	171,2

Tabla 6.34: Resumen estadístico de parámetros Físico Químicos en cuenca Salar de Maricunga

Parámetros	Estadístico	Sistema fluvial				Agua subterránea
		Quebrada 3x1	Valle Ancho en la barrera	Vega Pantanillo	Barros Negros	Barros Negros
	PUNTOS	A40, A41	A33	A42	A18	P3, P4
	N° muestras	4	5	2	6	12
pH	Promedio	7.1	7.7	7.8	7.8	7.7
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Promedio	131	1279	2175	1556	1427
Sólidos totales disueltos (mg/l)	Promedio	86	813	1637	979	923
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Promedio	6	19	7	12	18
Alcalinidad total (mg/l CaCO_3)	Promedio	27	75	118	92	82
Alcalinidad bicarbonato (mg/l CaCO_3)	Promedio	27	75	118	92	82
Alcalinidad carbonato (mg/l CaCO_3)	Promedio	1	1	1	1	1
Turbidez (UNT)	Promedio	3.1	0.7	6.7	1.8	4.1
RAS	Promedio	1	3.1	5.2	3.6	3.1

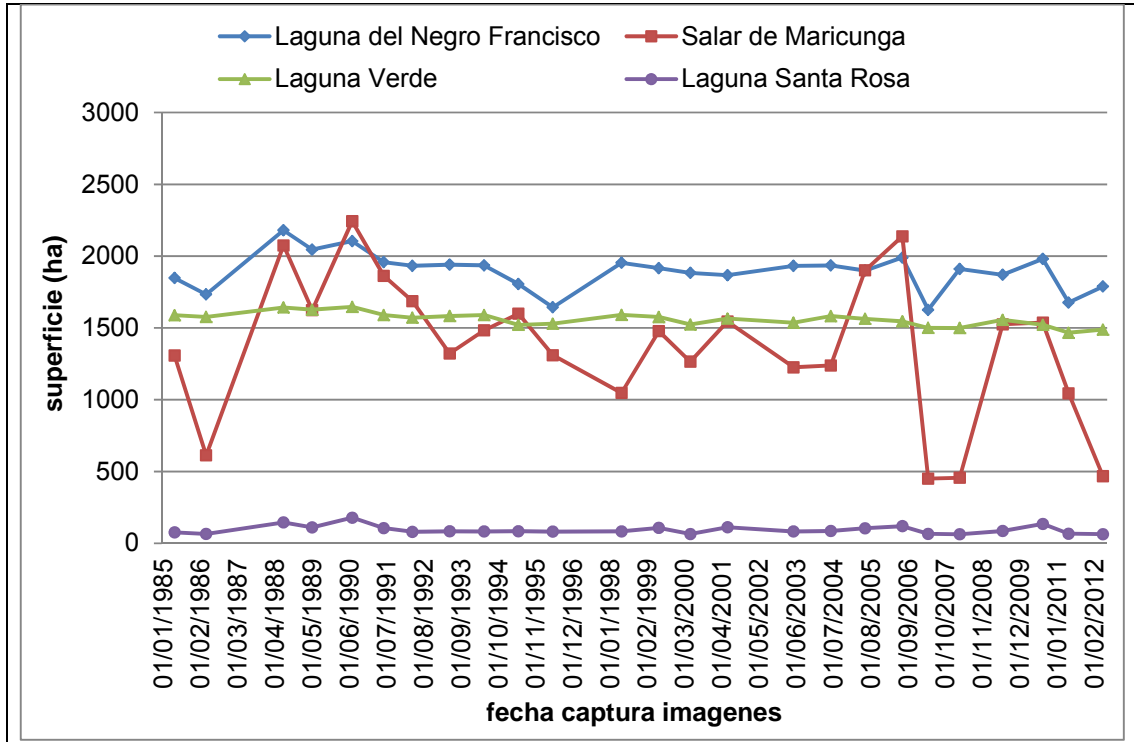


Figura 6.1 Cobertura de los cuerpos de agua temporada de invierno

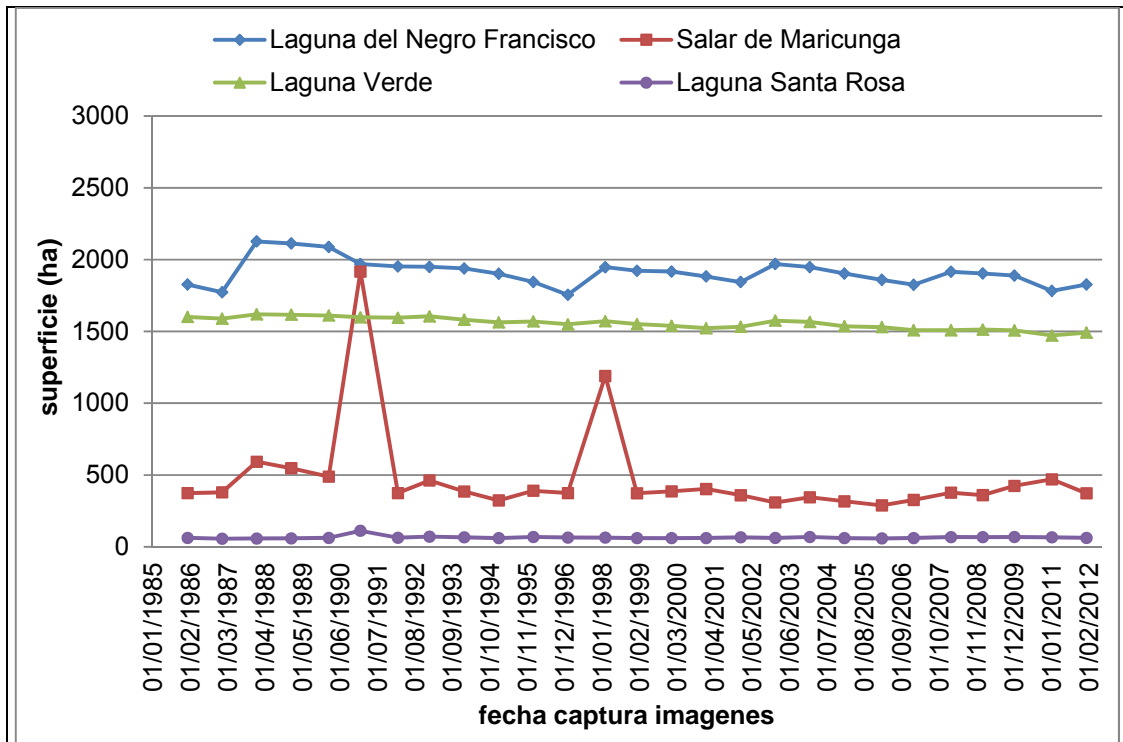


Figura 6.2 Cobertura de los cuerpos de agua temporada de verano

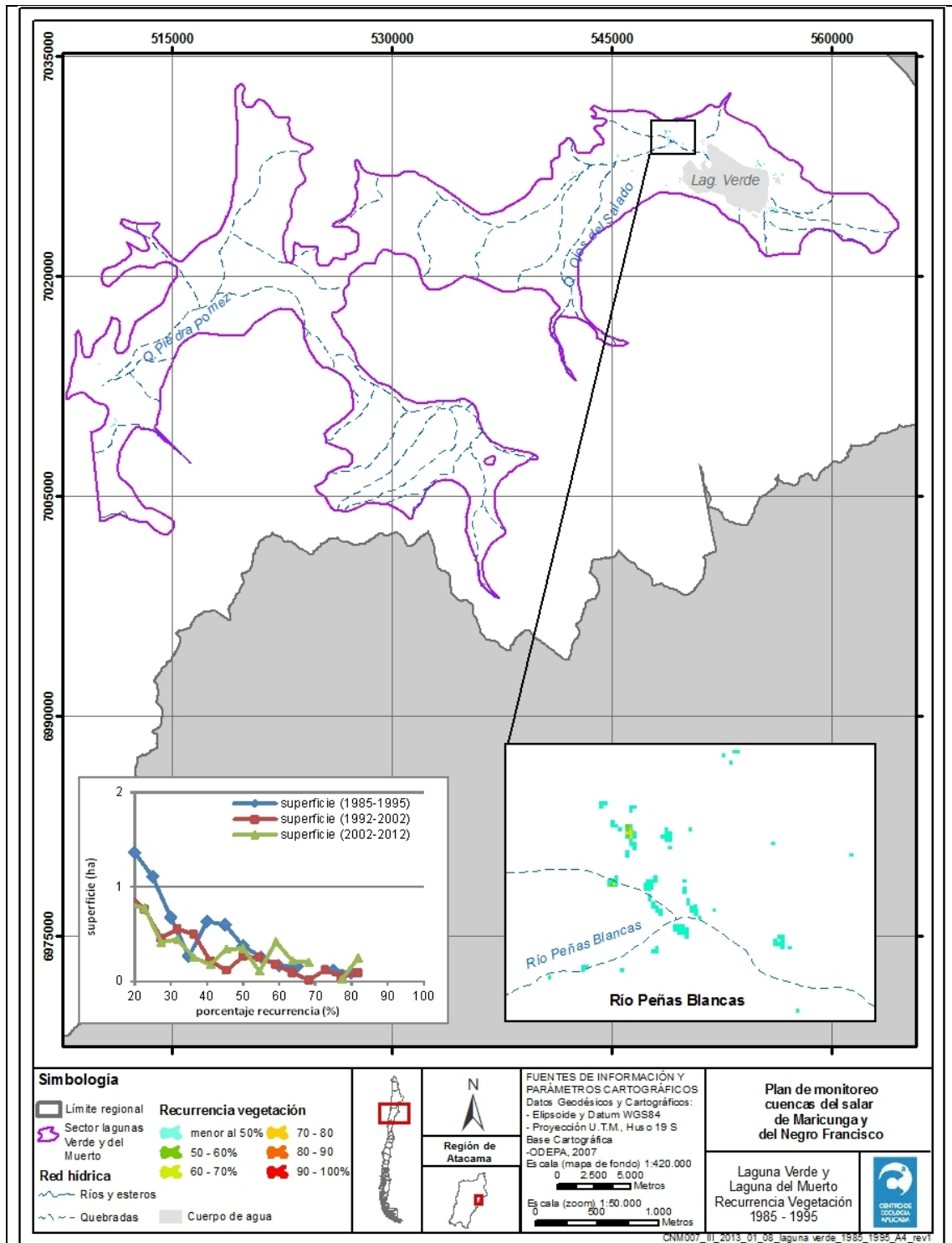


Figura 6.3. Recurrencia vegetacional Sector laguna Verde y laguna del Muerto década 1985-1995

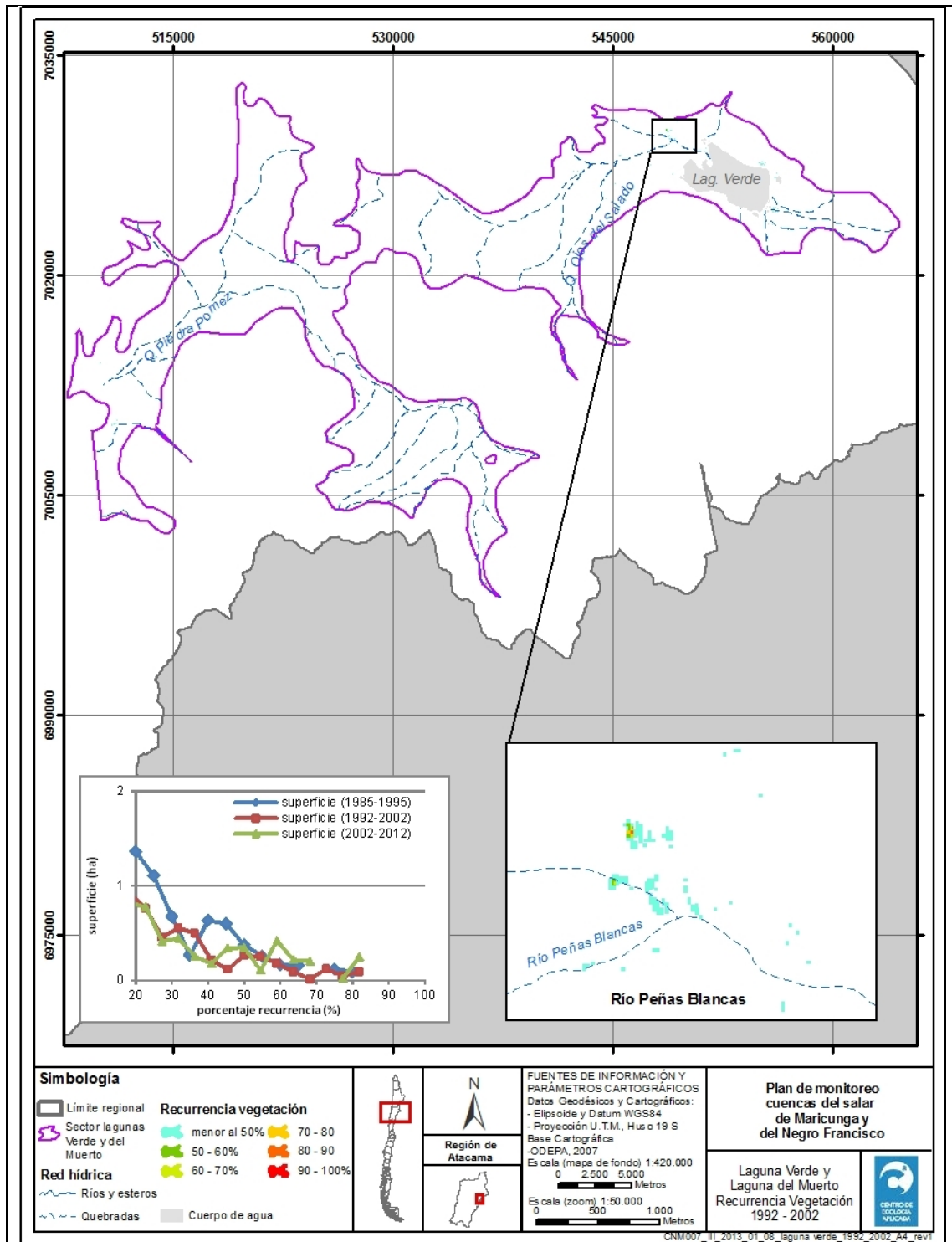


Figura 6.4. Recurrencia vegetacional Sector laguna Verde y laguna del Muerto década 1992-2002

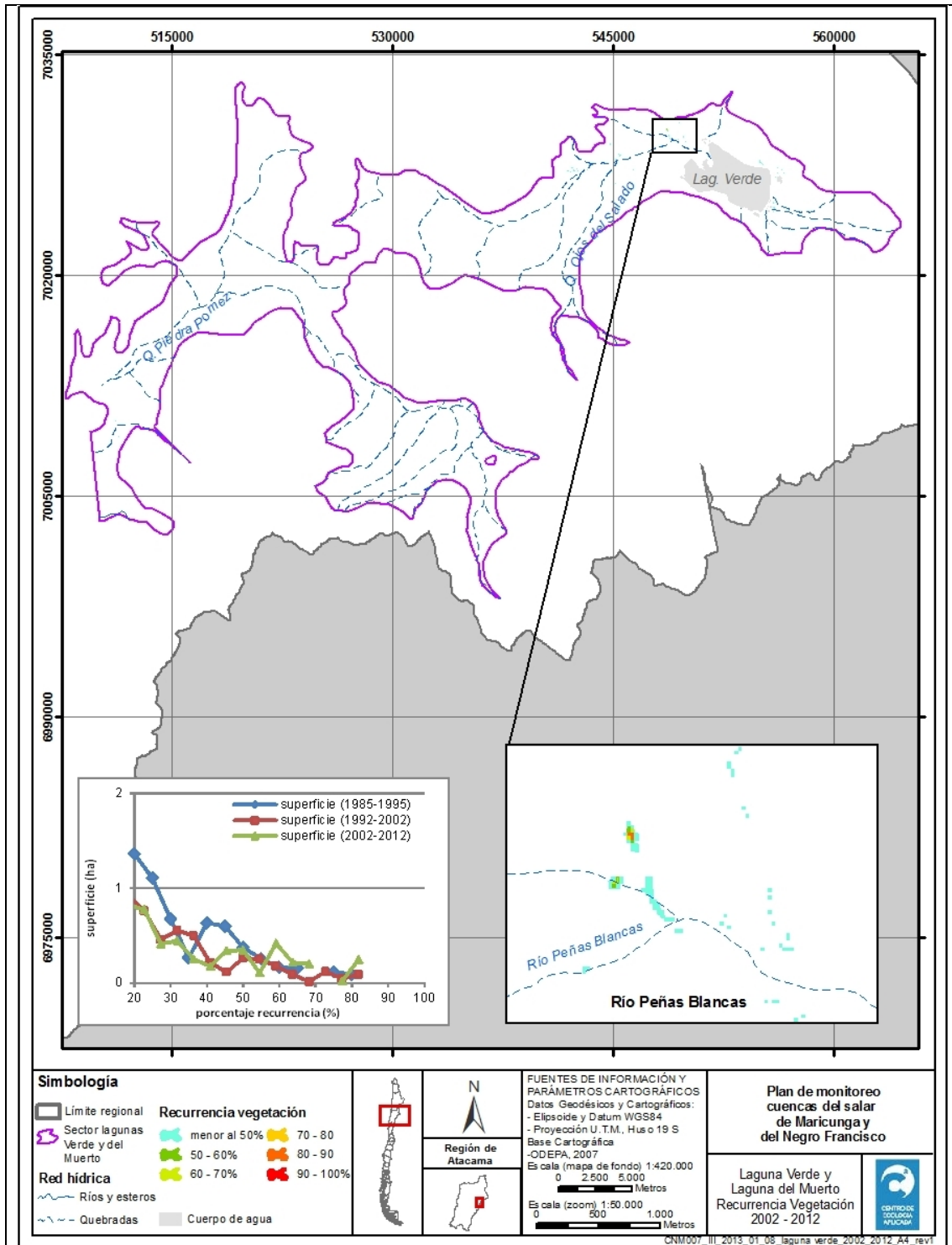


Figura 6.5. Figura 6.6 Recurrencia vegetacional Sector laguna Verde y laguna del Muerto década 2002-2012